

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет України**  
**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"**

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**МАТВІЙЧУК ІВАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК 622.02+622.26

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ПЛАНУВАННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ МЕГАПОЛІСІВ У**  
**ЗМІННОМУ ГЕОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

18 Виробництво та технології

184 Гірництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ І.О. Матвійчук

Науковий керівник – Гайко Геннадій Іванович, доктор технічних наук, професор.

Київ – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Матвійчук І. О.* Планування підземного простору мегаполісів у змінному геологічному середовищі. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 18 Виробництво та технології за спеціальністю 184. Гірництво. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2020.

Сучасний розвиток мегаполісів супроводжується широким освоєнням георесурсів і веде до суттєвого ускладнення функціонально-просторової організації міста. Одним з найбільш ефективних шляхів вирішення урбаністичних проблем (територіальних, транспортних, енергетичних, екологічних, водопостачальних, а також збереження архітектурної ідентичності й культурної спадщини міст) є будівництво підземних споруд і багатофункціональних комплексів різного призначення з використанням прогресивних геоінженерних технологій.

Серед проблем планування підземного простору великих міст значну актуальність зберігають задачі впливу змінності геологічного середовища на стійкість підземних споруд та прогнозна оцінка його сприятливості будівництву та експлуатації підземних об'єктів.

Метою дисертаційного дослідження є системне обґрунтування планування підземного простору мегаполісів в змінному геологічному середовищі.

Для вирішення поставлених завдань використаний комплекс методів теоретичних і експериментальних досліджень, зокрема модифікований метод морфологічного аналізу, метод експертних оцінок, метод скінчених елементів і метод Монте-Карло (а також їх синтез), методика натурних обстежень технічного стану підземних споруд, методика лабораторного визначення фізичних властивостей ґрунтів (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009) та ін.

В дисертації отримані значимі наукові результати:

На основі сформованої бази даних геологічного середовища в межах правобережного Києва встановлено характер залежностей механічних властивостей ґрунтів від зміни показника текучості ( $I_L$ ) та коефіцієнта пористості ( $e$ ) і виявлена тенденція значного (в 2 – 4 рази) зниження показників питомого зчеплення та модулю деформації супісків та суглинків і дещо меншого (в 1,3 – 1,7 рази) для глин у діапазоні  $0 < I_L < 0,50$ , з тенденцією подальшого повільного зменшення у діапазоні  $0,50 < I_L < 0,75$ .

Встановлено, що характер зміни модулю деформації та питомого зчеплення ґрунтового масиву, що вміщує виробку мілкого закладання, коректно описується поверхнями залежностей від комбінації показника текучості та пористості ґрунту, причому зміщення показника текучості ґрунту з діапазону  $0 < I_L < 0,50$  в діапазон  $0,50 < I_L < 0,75$  призводить до формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки й збільшення середніх значень згинальних моментів у вершині склепіння виробки в 1,3-1,6 рази в умовах супісків, у 1,2 – 1,4 рази в умовах суглинків, у 1,3 – 1,5 рази в умовах глин.

Розроблені морфологічні моделі, що враховують впливи таких факторів як рівень динамічного навантаження, показник статичного навантаження від поверхневої забудови, показник статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву, вплив існуючих підземних об'єктів, генетичний тип та літологічний склад ґрунтів, розрахунковий опір ґрунту, вплив водоносних горизонтів і верховодки, тип рельєфу і морфометрія, інженерно-геологічні процеси, геотехнології будівництва підземних споруд. Із залученням методу модифікованого морфологічного аналізу проведена прогнозна оцінка сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики, що дозволило оцінити рівень і ступень ризику на різних ділянках будівництва, причому фактори статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву (з урахуванням показника текучості) та інженерно-геологічні процеси в масиві зумовили найбільший вплив на альтернативи ступеню та рівня ризиків.

Методика та інструментарій планування будівництва підземних споруд вперше дозволили поєднати оцінку впливів і зв'язків факторів геологічного,

техногенного та структурно-функціонального типів для аналізу сприятливості міських територій будівництву підземних паркінгів (як з боку економічних факторів будівництва й експлуатації підземної споруди в змінному геологічному середовищі, так і ризиків щодо затребуваності паркінга). Основою інструментарію обрано модифікований метод морфологічного аналізу, який добре зарекомендував себе у моделюванні проблемних ситуацій, об'єкти яких можуть мати велику кількість альтернативних конфігурацій. Він дозволив, спираючись на виділені групи геологічних і техногенних факторів, а також функціональних характеристик ділянок розглянути низку рішень і груп ризиків для оцінки доцільності освоєння підземного простору на розглянутих територіях.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що:

Сформована база даних геологічного середовища в межах правобережного Києва, яка в поєднанні з модифікованим методом морфологічного аналізу та напрацьованим інструментарієм його застосування для освоєння георесурсів столиці можуть бути використані для побудови стратегічного майстер-плану розвитку підземної урбаністики Києва.

Розроблена «Методика прогнозової оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики», яка дозволяє прогнозувати різноманітні ризики, оцінювати імовірність реалізації негативних сценаріїв та додаткові витрати пов'язані з ними ще на передпроектній стадії спорудження підземних об'єктів. Це дає в руки інвесторів та міських державних адміністрацій ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів.

Результати роботи у вигляді «Методики прогнозової оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики» впроваджені в Корпорації «ДБК-ЖИТЛОБУД», м. Київ (акт впровадження від 02.12.2019), результати натурних і лабораторних досліджень змінного геологічного середовища та конструкцій кріплення штольні Сирецького самопливного колектору впроваджені в ТОВ «ГЕС ГРУП» (акт впровадження від 02.03.2020), «Рекомендації щодо стратегічного розвитку підземної урбаністики

міста Києва» передані в КМДА та в Академію будівництва України для подальшого застосування.

За матеріалами дисертації опубліковано 6 статей, з яких 2 – у фахових виданнях України, 2 у виданнях, що входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, з них 1 – що входить до другого квартилю Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank та Journal Citation Reports.

**Ключові слова:** підземна урбаністика, підземні споруди, підземний простір, георесурси, геологічне середовище, морфологічний аналіз, морфологічна модель, механіка ґрунтів, показник текучості, формування навантажень, згинальний момент, оцінка ризиків, системний підхід.

## SUMMARY

Matviychuk I. Planning of underground space of megacities in the changing geological environment. - Qualifying scientific work, the manuscript.

PhD thesis in the field of knowledge 18 Production and technologies in specialty 184 Mining. - National Technical University of Ukraine " Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2020.

The modern development of megacities is accompanied by extensive development of georesources and leads to a significant complication of the functional and spatial organization of the city. One of the most effective ways to solve urban problems (territorial, transport, energy, environmental, water supply, as well as preserving the architectural identity and cultural heritage of cities) is the construction of underground structures and multifunctional complexes for various purposes using advanced geoengineering technologies.

Among the problems of planning the underground space of large cities, the tasks of the impact of variability of the geological environment on the stability of underground structures and the forecast assessment of its favorable construction and operation of underground facilities remain significant.

The purpose of the dissertation research is a systematic substantiation of the planning of the underground space of megacities in a changing geological environment.

A set of methods of theoretical and experimental researches, in particular the modified method of morphological analysis, a method of expert estimations, a method of finite elements and a Monte Carlo method (and also their synthesis), a technique of field inspections of a technical condition of underground constructions, a technique of laboratory definition of physical properties are used. soils (according to DSTU B B.2.1-17: 2009), etc.

In the dissertation significant scientific results are received:

Based on the formed database of the geological environment within the right-bank Kyiv, the nature of the dependences of mechanical properties of soils on changes

in yield capacity (IL) and porosity coefficient (e) was established and a tendency of significant (2 - 4 times) decrease in specific adhesion and sand deformation modulus was revealed. loams and slightly less (1.3 - 1.7 times) for clays in the range  $0 < IL < 0.50$ , with a tendency of further slow decrease in the range  $0.50 < IL < 0.75$ .

It is established that the nature of the change of the modulus of deformation and specific adhesion of the soil mass, containing the development of shallow laying, is correctly described by the surfaces of dependences on the combination of soil flow and porosity, and the displacement of soil flow from  $0 < IL < 0.50$  to  $0.50 < IL < 0.75$  leads to formation of a sliding prism on all depth of laying of working out and increase in average values of bending moments in the top of a vault of working out in 1,3-1,6 times in the conditions of sandy loams, in 1,2 - 1,4 times in the conditions loams, 1.3 - 1.5 times in clay.

Morphological models have been developed that take into account the effects of such factors as the level of dynamic load, static load from surface construction, static load of the surrounding soil mass, the impact of existing underground objects, genetic type and lithological composition of soils, calculated soil resistance, aquifers and verkhovodki, type of relief and morphometry, engineering-geological processes, geotechnologies of construction of underground structures. Using the method of modified morphological analysis, a forecast assessment of the favorable geological environment for the construction of underground urban facilities, which allowed to assess the level and degree of risk in different construction sites, and the factors of static load of the surrounding soil (flow rate) and other arrays have had the greatest impact on alternatives to the degree and level of risk.

Methods and tools for planning the construction of underground structures for the first time allowed to combine the assessment of impacts and relationships of geological, man-made and structural-functional factors to analyze the suitability of urban areas for underground parking (both economic factors of construction and operation of underground structures in changing geological environment and risks in terms of parking demand). The tool is based on a modified method of morphological analysis, which has proven itself in modeling problem situations, the objects of which can have a

large number of alternative configurations. He allowed, based on the selected groups of geological and man-made factors, as well as the functional characteristics of the sites to consider a number of solutions and risk groups to assess the feasibility of developing underground space in the areas.

The practical value of the dissertation is that:

The database of the geological environment within the right-bank Kyiv, which in combination with the modified method of morphological analysis and the developed tools of its application for development of georesources of the capital can be used to build a strategic master plan for underground urban development in Kyiv.

The "Methodology for forecasting the favorable geological environment for the construction of underground urban facilities" has been developed, which allows forecasting various risks, assessing the probability of implementation of negative scenarios and additional costs associated with them at the pre-project stage of underground construction. This gives investors and city administrations an effective tool for managing risks and investments in the development of the underground space of megacities.

The results of work in the form of "Methods of forecast assessment of the favorable geological environment for the construction of underground urban planning" implemented in the Corporation "DBK-ZHYTLOBUD", Kyiv (act of implementation from 02.12.2019), the results of field and laboratory studies of variable geological environment and fastening structures the galleries of the Syretsky self-flowing collector have been implemented in GES GROUP LLC (implementation act dated 02.03.2020), "Recommendations on strategic development of underground urban planning of the city of Kyiv" have been transferred to the Kyiv City State Administration and the Academy of Civil Engineering of Ukraine for further use.

Based on the materials of the dissertation, 6 articles were published, of which 2 - in professional publications of Ukraine, 2 in publications included in the scientometric databases Scopus and Web of Science, of which 1 - included in the second quartile Q2 according to the SCImago Journal and Country Rank and Journal Citation Reports.



**Key words:** underground urban planning, underground constructions, underground space, georesources, geological environment, morphological analysis, morphological model, soil mechanics, yield index, load formation, bending moment, risk assessment, system approach.

List of applicant's publications:

1. Haiko H. I., Savchenko I.O., Matviichuk I.O. Development of a morphological model for territorial development of underground city space// *Naukovyi Visnyk NHU*, 2019, № 3. – P. 92-98. (Scopus, кuartиль Q2).
2. Гайко Г.І., Матвійчук І.О., Білецький В.С., Салуга П.. Методи прогновної оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики/ *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія».* – 2018. – № 48. – С. 39 – 51 (фахове видання України, індексується в б. д. Web of Science).
3. Гайко Г.І., Савченко І.О., Матвійчук І.О. Оцінювання ділянок будівництва підземних паркінгів на основі модифікованого методу морфологічного аналізу// *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 2019, № 15. – С. 18-25 (фахове видання України).
4. Гайко, Г.І., Матвійчук І.О. Вплив зміни властивостей геологічного середовища на формування навантажень на підземні споруди мілкового закладання// *Геоінженерія*, 2020, №2. – С. 27-36.
5. Гайко Г.І., Матвійчук І.О. Постановка імовірнісної задачі оцінки факторів впливу на міські підземні споруди з використанням методу Монте-Карло// *Матеріали 11-ої міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій».* – Дніпро: НГУ, 2017. С. 57–61.
6. Гайко Г.І., Матвійчук І.О. Аналіз залежностей міцнісних властивостей глинистих ґрунтів від зміни вологості // *Матеріали 13-ої міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій».* – Дніпро, 2019. – С. 149-152.

## ЗМІСТ

Анотація.....	2
Summary.....	6
Зміст.....	10
Вступ.....	12
Розділ 1 АНАЛІЗ І ЗАДАЧІ ОСВОЄННЯ ГЕОРЕСУРСІВ ВЕЛИКИХ МІСТ	
1.1 Тенденції та перспективи освоєння георесурсів мегаполісів.....	17
1.2 Проблеми планування підземного простору великих міст .....	25
1.3 Морфологічний аналіз як наукова методологія для планування системи альтернативних проектних конфігурацій підземного простору .....	36
1.4 Постановка задач досліджень.....	42
Розділ 2 СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОСВОЄННЯ ГЕОРЕСУРСІВ МЕГАПОЛІСУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ ТА БАГАТОФАКТОРНИХ РИЗИКІВ	
2.1 Формування бази даних властивостей ґрунтів правобережного Києва.....	44
2.2 Розробка морфологічних моделей та прогнозна оцінка сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики.....	53
2.3 Модифікований морфологічний аналіз геологічного середовища та факторів структурно-функціонального характеру при плануванні підземних паркінгів.....	73
Висновки за розділом 2.....	82
Розділ 3 ВПЛИВ ЗМІННОСТІ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА СТІЙКІСТЬ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД	
3.1 Аналіз змінності геомеханічних властивостей ґрунтів в залежності від комплексного показника текучості й коефіцієнта пористості.....	84
3.2 Моделювання зміщень та діючих зусиль в конструкціях підземних споруд у змінному геологічному середовищі.....	87
3.3 Врахування ризиків втрати стійкості підземних споруд за допомоги синтезу методів скінченних елементів і Монте-Карло.....	97

Висновки за розділом 3.....	103
Розділ 4 НАТУРНІ Й ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІННОГО ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА КОНСТРУКЦІЙ КРІПЛЕННЯ ШТОЛЬНІ СИРЕЦЬКОГО САМОПЛИВНОГО КОЛЕКТОРУ	
4.1 Методика обстеження технічного стану штольні.....	105
4.2 Результати обстеження штольні на ділянці Сирецького самопливного каналізаційного колектора .....	109
4.3 Методика і результати лабораторних досліджень фізичних властивостей зразків ґрунту, порівняння з проектними показниками.....	112
Висновки за розділом 4.....	121
Розділ 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВИТКУ ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ МІСТА КИЄВА	
5.1 Обґрунтування економічної ефективності .....	122
5.2 Рекомендації щодо розвитку підземної урбаністики міста Києва.....	135
Висновки за розділом 5.....	145
Загальні висновки.....	145
Список використаних джерел.....	149
Додатки.....	157

## ВСТУП

**Актуальність.** Суттєві зміни, які відбулися останніми десятиріччями в житті великих міст, потребують наукового осмислення нових реалій і найбільш імовірних перспектив їх подальшого розвитку. Вирішення низки гострих проблем, пов'язаних з інтенсивним зростанням мегаполісів: територіальних, транспортних, енергетичних, екологічних та ін. може бути успішно здійснене шляхом геобудівельного освоєння міського підземного простору. У концепції сталого розвитку міст освоєння їх георесурсів має особливе значення, оскільки підземна інфраструктура підвищує якість життя та екологічну безпеку більшою мірою, ніж аналогічна система на поверхні. Освоєння підземного простору, який є невід'ємною складовою сучасного мегаполісу, вже вийшло за межі окремих локальних об'єктів і стає системним фактором існування міст. Передбачення майбутніх змін, відповідна міська політика, планування освоєння георесурсів мегаполісів повинні спиратися на надійний науково-методичний фундамент, який мусить забезпечувати розвиток наземної та підземної забудови як одного цілого.

Темпи міського підземного будівництва сьогодні не задовольняють потреб сучасних мегаполісів. Однією з причин такої ситуації є значні ризики освоєння підземного простору, пов'язані з недостатньою інформацією про стан і властивості геологічного середовища на стадії планування підземної інфраструктури і прийняття рішення о доцільності інвестування в умовах неповноти інформації.

Серед спроб дати науково-практичне забезпечення містобудівельним потребам зазначимо методики районування території міста й типізації геологічного середовища, а також застосування методів системного аналізу будівельних ризиків, які використовувались для оптимізації розвитку поверхневої (наземної) забудови міст. Ці підходи не можуть бути автоматично перенесені на об'єкти підземної урбаністики, де значною мірою зростає роль геологічного середовища, в якому споруджуються та експлуатуються підземні об'єкти та їх комплекси. Виходячи з цього, планування підземного простору мегаполісів,

попередня оцінка сприятливості геологічного середовища розвитку підземної урбаністики, є актуальним питанням збільшення обсягів міського підземного будівництва.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі геоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського відповідно до держбюджетної НДР: «Розвиток підземної урбаністики як системи освоєння георесурсів великих міст» (номер держреєстрації 0117U002414), у якій автор брав участь як виконавець.

### **Мета та задачі дослідження.**

Мета роботи полягає в системному обґрунтуванні планування підземного простору мегаполісів в змінному геологічному середовищі.

Для досягнення поставленої мети в дисертації були сформульовані й вирішені наступні задачі досліджень:

1. Формування бази даних геологічного середовища правобережного Києва для планування розвитку підземної урбаністики.
2. Адаптація модифікованого методу морфологічного аналізу для задач освоєння підземного простору мегаполісів в умовах багатofакторних ризиків.
3. Розробка морфологічних моделей та оцінювання сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики.
4. Дослідження впливу зміни властивостей геологічного середовища на стійкість підземних споруд мілкого закладання.

**Об'єкт дослідження** – геомеханічні процеси в змінному геологічному середовищі, що вміщує підземні споруди мілкого закладання.

**Предмет дослідження** – закономірності формування ризиків будівництва та підтримання підземних споруд у змінному геологічному середовищі великих міст.

**Методи досліджень.** Для вирішення поставлених завдань використаний комплекс методів теоретичних і експериментальних досліджень, зокрема модифікований метод морфологічного аналізу, метод експертних оцінок, метод скінчених елементів і метод Монте-Карло (а також їх синтез), методика натурних

обстежень технічного стану підземних споруд, методика лабораторного визначення фізичних властивостей ґрунтів (згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009) та ін.

### **Наукові положення, що виносяться на захист**

1. Основою наукової методології для планування міського підземного простору є модифікований метод морфологічного аналізу, що поєднує оцінку впливів і зв'язків факторів геологічного, техногенного та структурно-функціонального типів для аналізу сприятливості міських територій будівництву підземних споруд, причому мережа морфологічних таблиць поєднує першочергову таблицю результатів морфологічного аналізу геологічного середовища з наступними підпорядкованими таблицями структурно-функціонального характеру, а найбільший вплив на альтернативи ризиків зумовлюють фактори статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву з урахуванням показника текучості та інженерно-геологічні процеси в масиві.

2. Характер зміни модулю деформації та питомого зчеплення ґрунтового масиву, що вміщує виробку мілкого закладання, описується поверхніми залежностей від комбінації показника текучості та пористості ґрунту, причому зміщення показника текучості ґрунту з діапазону  $0 < I_L < 0,50$  в діапазон  $0,50 < I_L < 0,75$  призводить до формування призми сповзання ґрунту на всю глибину закладання виробки й збільшення середніх значень згинальних моментів у вершині склепіння виробки в 1,3-1,6 рази в умовах супісків, у 1,2 – 1,4 рази в умовах суглинків, у 1,3 – 1,5 рази в умовах глин. **Наукова новизна** одержаних результатів полягає в наступному:

Адаптовано метод морфологічного аналізу для оцінки ризиків урбаністичного освоєння підземного простору, розроблено морфологічні моделі територіального розвитку підземної урбаністики і проведено їх тестування на ділянках підземного будівництва в м. Києві, вперше отримані системні характеристики, зв'язки та залежності факторів геологічного середовища, які зумовлюють ступінь його сприятливості підземному будівництву.

Вперше на основі сформованої бази даних геологічного середовища в межах правобережного Києва, яка включала показники із 362 свердловин і 512

геологічних елементів з глибиною відбору від поверхні до 60 м, встановлено характер залежностей механічних властивостей ґрунтів від зміни показника текучості ( $I_L$ ) та коефіцієнта пористості ( $e$ ) і виявлена тенденція різкого (в 2 – 4 рази) зниження показників питомого зчеплення та модулю деформації супісків та суглинків і дещо меншого (в 1,3 – 1,7 рази) для глин у діапазоні  $0 < I_L < 0,50$ , з тенденцією подальшого повільного зменшення у діапазоні  $0,50 < I_L < 0,75$ .

### **Практичне значення роботи:**

Розроблена «Методика прогнозової оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики», яка дозволяє прогнозувати різноманітні ризики, оцінювати імовірність реалізації негативних сценаріїв та додаткові витрати пов'язані з ними ще на передпроектній стадії спорудження підземних об'єктів. Це дає в руки інвесторів та міських державних адміністрацій ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів.

Сформована база даних геологічного середовища в межах правобережного Києва, яка в поєднанні з модифікованим методом морфологічного аналізу та напрацьованим інструментарієм його застосування для освоєння георесурсів столиці можуть бути використані для побудови стратегічного майстер-плану розвитку підземної урбаністики Києва.

### **Реалізація результатів досліджень.**

Результати роботи у вигляді «Методики прогнозової оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики» впроваджені в Корпорації «ДБК-ЖИТЛОБУД», м. Київ (акт впровадження від 02.12.2019), результати натурних і лабораторних досліджень змінного геологічного середовища та конструкцій кріплення штольні Сирецького самопливного колектору впроваджені в ТОВ «ГЕС ГРУП» (акт впровадження від 02.03.2020), «Рекомендації щодо стратегічного розвитку підземної урбаністики міста Києва» передані в КМДА та в Академію будівництва України для подальшого застосування.

**Особистий внесок автора** полягає у формуванні ідеї роботи, мети і задач досліджень, наукових положень, висновків, участі в побудові морфологічних таблиць і їх тестуванні на ділянках запланованого підземного будівництва, розробці рекомендацій та методик. Авторіві належать формування бази даних геологічного середовища та її систематизація, побудова поверхонь залежностей міцнісних властивостей ґрунтів у змінному геологічному середовищі, ним отримані результати моделювання призми сповзання та згинальних моментів в оправі виробок, у т.ч. із застосуванням методу Монте-Карло, проведені натурні та лабораторні дослідження змінного геологічного середовища та конструкцій кріплення штольні Сирецького самопливного колектору.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні положення дисертації доповідались на міжнародних науково-технічних конференціях: «Перспективи розвитку будівельних технологій» (Дніпро, 2017, 2019), «Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики» (Київ, 2019), а також на наукових семінарах кафедри геоінженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського в 2018-2020 рр.

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи автором досліджень опубліковано 5 статей, у тому числі 2 – у фахових виданнях України, 2 у виданнях, що входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, з них 1 – що входить до другого квартилю Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank та Journal Citation Reports.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел, який містить 86 найменувань (в тому числі 10 іноземних) та додатків. Робота містить 205 сорінку, у тому числі: 148 сторінок основного тексту, 49 рисунків та 25 таблиць.



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ І ЗАДАЧІ ОСВОЄННЯ ГЕОРЕСУРСІВ ВЕЛИКИХ МІСТ

#### 1.1. Тенденції та перспективи освоєння георесурсів мегаполісів

Інтенсивний розвиток мегаполісів як культурно-історичних, політичних і торгово-промислових центрів супроводжується безперервним зростанням чисельності населення, кількості автомобілів, обсягів товаропотоків, енергетичних і водних потреб. Зростання великих міст є проявом сталих історичних закономірностей і веде не тільки до збільшення розмірів, але й до суттєвого ускладнення функціонально-просторової організації міста. Це породжує низку гострих міських проблем: територіальних, транспортних, енергетичних, екологічних, водопостачальних, загрожує збереженню архітектурної ідентичності й культурної спадщини великих міст. Світова практика містобудування свідчить, що одним з найбільш ефективних шляхів вирішення цих проблем є освоєння георесурсів мегаполісу, тобто розміщення в підземному просторі міста численних споруд господарчого, комунального, транспортного, а в окремих проектах і житлового призначення [1 – 3].

Програма ООН з населених пунктів (The United Nations Human Settlements Programme, UN-Habitat) свідчить, що темпи економічного зростання країни і рівень урбанізації мають позитивну кореляцію, а продуктивність праці в найбільших містах країн світу істотно вище, ніж в середньому по країні. Ця статистика говорить про те, що урбанізація може стимулювати економічне зростання й прогрес розвитку країни. З іншого боку найбільш помітною проблемою у зв'язку з цим стає дефіцит територій, пов'язаний з невідповідністю структури й архітектурно-планувальних рішень міст непомірному збільшенню їх населення, чисельність якого не планувалася й навіть не прогнозувалося в часи виникнення й первинного розвитку міст [4].

У 1900 р. в містах проживало 13% світового населення, в 1950 р. – 29%, в 1990 р. – 46%, а в 2010 р. - понад 50%. За прогнозами Програми ООН з населених

пунктів до 2050 р. три чверті населення світу будуть проживати в міських районах.

Вже сьогодні у багатьох економічно розвинених країнах частка міського населення становить 75-80%, і цей показник останнім часом є стабільним. Україну за цим показником можна віднести до країн які наближаються до зазначеного стану, у нас цей показник становить 69%, а статус міста мають 454 населенні пункти, п'ять з них міста-мільйонери (Київ, Харків, Дніпропетровськ, Одеса, Донецьк), ще чотири налічують від 0,5 до 1 млн. мешканців (Запоріжжя, Львів, Кривий Ріг, Миколаїв), в 37 містах проживає від 100 до 500 тис. осіб. Населення Києва з навколишніми передмістями складає понад 4 млн. мешканців. Майже половина населення України мешкає в агломераціях, яких в країні близько 20, найбільші – Київська, Донецька, Харківська, Дніпровська, Львівська, Одеська (разом – понад 12 млн. осіб) [5].

Тобто розвиток урбаністики України відповідає загальним світовим тенденціям і стикається з подібними ж проблемами, вирішення яких значною мірою лежить в площині підземного будівництва.

В сучасних мегаполісах з найбільш розвиненою підземною урбаністикою, таких як: Токіо, Монреаль, Гельсінкі, Осака, Сінгапур, Пекін площа підземної забудови складає 20 – 25% від наземної, але в більшості великих міст, навіть за наявності метрополітену, цей показник знаходиться діапазоні 5 – 10%, що свідчить про значний потенціал зростання обсягів освоєння георесурсів. На певнім етапі розвитку мегаполісу відбувається перехід від проектування й будівництва локальних підземних споруд до підземних багатофункціональних комплексів, які певною мірою замінюють для мешканців міст денну територію підземним простором (виникають так звані «підземні міста-дублери») [6 - 10].

Глобальна зацікавленість в освоєнні підземного простору значною мірою зумовлена позитивними якостями підземних споруд, що дозволяє зменшити витрати енергії на опалення та охолодження приміщень, скоротити експлуатаційні видатки в порівнянні зі спорудами на поверхні, суттєво знизити впливи кліматичних умов. Здатність породного масиву надійно захищати людей

від небезпечних зовнішніх впливів дозволила широко використовувати підземні споруди як захисні об'єкти від засобів масового ураження, стихійних лих та техногенних катастроф [11, 12].

Сучасні геобудівельні концепції передбачають загальний розподіл усіх міських підземних споруд за чотирма рівнями глибини, які часом можуть передавати свої функції сусіднім рівням:

- перший (найглибший) рівень – комунікації, що експлуатуються без постійної присутності людини;
- другий рівень – промислові та енергетичні підприємства з постійною присутністю обмеженої кількості кваліфікованого персоналу;
- третій рівень – транспортні тунелі, автомобільні гаражі й паркінги, склади й допоміжні приміщення, службові комунікації з короткочасним використанням великою кількістю людей;
- четвертий рівень – пішохідні зони й прилеглі до них торговельні, спортивні й розважальні центри, готелі, суспільні й адміністративні заклади постійного використання, що передбачають довготривалу присутність великої кількості людей.

Переважає більшість міських підземних споруд зосереджені на третьому і четвертому рівні (споруди мілкового закладання), який характеризується значною змінністю властивостей геологічного середовища, що вміщує підземні об'єкти і містить певні ризики підземного будівництва.

Розглянемо основні напрямки світового досвіду освоєння підземного простору мегаполісів, які розкривають основні тенденції сучасних геобудівельних проектів [8 - 14].

Одним з основних напрямків освоєння підземного простору великих міст залишається будівництво розгалуженої інженерно-транспортної інфраструктури, причому система метрополітену доповнюється мережею швидкісних залізничних і автомобільних тунелів. Постійний розвиток метрополітенів призвів до створення в багатьох мегаполісах світу підземних пасажирських перевезень високої інтенсивності. У Лондоні сьогодні функціонує 270 станцій і 402 км транспортних

тунелів, у Пекіні, відповідно, 398 і 690,5 км, у Шанхаї – 413 і 676 км, у Нью-Йорку – 472 і 394 км, у Токіо – 291 і 304,1 км. Київський метрополітен нараховує лише 52 станції та 69,6 км тунелів, проте ці показники подібні до більшості метрополітенів європейських країн. Виходячи з того, що кожна станція це цілий комплекс підземних споруд (прилеглих переходів, крамниць, закладів харчування тощо), можна стверджувати, що станції метрополітену є своєрідними осередками «підземного життя» і планувальним каркасом розвитку «підземного міста», яким щодня користуються мільйони людей.

Для розуміння масштабів підземного пасажиропотоку зазначимо дані для п'ятірки метрополітенів-лідерів: Пекінський – 3777,9 млн. пасажирів на рік, Токійський – 3713,6 млн., Шанхайський – 3537,6 млн., Сеульський – 2856,5 млн., метрополітен Гуанчжоу – 2802,6 млн.

До станцій метрополітену «прив'язані» великі багатофункціональні комплекси, будівництво яких є основним сучасним напрямком розвитку підземної урбаністики.

Підземне місто в Монреалі (The Underground Siti RESO), яке також називають «внутрішнім містом», є одним з найбільших підземних комплексів світу. Розташовано під землею на площі понад 12 кв. км в найбільш густонаселеній частині Монреаля. За день підземним центром міста проходить до 500 000 чоловік. Загальна протяжність його підземних споруд перебільшує 32 км і нараховує 40 великих об'єктів. Існує близько 190 точок доступу, через які можна спуститися в «підземне місто», і це не рахуючи розвинену мережу метрополітену. Під час поганої погоди, яка не рідкість в північному місті, вулиці буквально порожніють - все переміщуються під землю. RESO з'єднаний з 10 з 68 станцій метро, з великими торговельними центрами міста і іншими будівлями, які мають до 10 поверхів заввишки і обов'язково по два підземні поверхи.

Ця унікальна споруда вміщує близько 2000 магазинів, 1200 офісів, 200 ресторанів, 43 автомобільні стоянки, 34 кінотеатру і кілька підземних театрів. З підземної мережею пов'язано близько двох десятків музеїв та інших визначних

пам'яток. Багато готелів і бізнес-центри, школи та університети мають виходи в «підземне місто».

Підземний Токіо являє собою декілька одночасно діючих і споруджуваних підземних комплексів, найглибші з яких сягають 16 підземних рівнів, при цьому характерною рисою освоєння підземного простору міста є рекордні темпи й обсяги підземного будівництва (лише в останні роки ця першість перейшла до Пекіну). Майже кожна станція Токійського метрополітену сполучена з багатоярусною автовелостоянкою та мережею пішохідних тунелів, які дозволяють потрапити до всіх житлових масивів, що обслуговуються станцією. Поєднання станцій з багатофункціональними підземними комплексами, які утворюють великі торговельні й ділові квартали, формує підземні транспортно-соціально-культурні центри основних районів Токіо.

В західній частині Великого Токіо ведеться будівництво підземного міста Геотрополіс (Geotropolis), яке використовує нову концепцію підземного житлового середовища, надійно захищеного від імовірних землетрусів, тайфунів, цунамі. Можливо вперше в новітній історії тут передбачене постійне (довготривале) перебування мешканців в комфортному підземному середовищі, яке утворюють підземні вулиці житлових і торговельних комплексів та швидкісні транспортні комунікації. Місто розміщене в потужному шарі аргіліту на глибині 50 м від денної поверхні, що забезпечує вельми сприятливі умови для надійного підтримання підземних споруд. Для вирішення психологічної проблеми тривалого перебування людини на глибині в замкненому середовищі застосовується низка найсучасніших інженерних заходів, що імітують денну поверхню (включно з відповідним освітленням, рухливими «краєвидами з вікон», звуками, запахами тощо). Планування підземного простору як залюдненого середовища ставить нові завдання психологічної адаптації людини, вирішення яких має поєднати інженерні та соціально-гуманітарні підходи розвитку підземної урбаністики [5, 15].

Найбільш розповсюдженим напрямком освоєння підземного простору середмістя залишається будівництво великих торговельно-розважальних

комплексів (ТРК) під центральними площами міст і прилеглими вулицями. Серед найбільших зазначимо: підземний ТРК «Шлях» у Торонто (1,2 тис. магазинів, 371,6 тис. м<sup>2</sup> підземної торгівельної площі, мережа тунелів довжиною 27 км, сполучення з 6 станціями метрополітену, понад 100 тис. щоденних відвідувачів); підземний комплекс станції метра «Міський муніципалітет» у Сіднеї (декілька великих підземних ТРК в радіусі понад 3 км навколо станції, поєднаних мережею тунелів і переходів); підземний комплекс в районі Олбані в Нью-Йорку (поєднує три станції метрополітену, автостанцію, будівлі банків, офісів, магазинів і ресторанів); підземний пішохідний центр Оклахоми (величезна пішохідна підземна мережа, що поєднує понад 30 ТРК, музеїв, театрів, банків, офісних центрів у середмісті, а також кілька станцій метра), комплекс «Мтахус» під площею Карлсplatц у Мюнхені (займає п'ять підземних ярусів і поєднує торгівельні центри площею 9 тис. м<sup>2</sup>, залізничний вокзал і станції метра, паркінг на 800 авто, станцію техобслуговування, автомобільну заправку, склади, інженерне обладнання, містить понад 100 підприємств і обслуговується 38 ескалаторами). Досвід будівництва підземних торгівельних центрів знайшов успішне застосування і в центрі Києва – комплекси «Глобус» (під Майданом Незалежності) і «Метроград» (Бесарабська площа та прилеглі вулиці).

Прогресивним напрямком освоєння міського підземного простору слід також вважати нове функціональне застосування вже існуючих підземних споруд, тобто використання принципу «postuseful» (подальшої користі) старих об'єктів [16]. Найбільш масштабним прикладом цього напрямку є проектування реконструкції та нового використання величезної мережі старих бомбосховищ у Пекіні, загальна площа яких сягає близько 85 км<sup>2</sup>. Цей проект дозволить створити найбільше в світі сучасне «підземне місто», використовуючи здебільшого вже існуючий підземний простір системи сховищ цивільної оборони, які втратили актуальність у своєму сьогоденнішньому вигляді. При цьому нове «підземне місто» може мати функції подвійного призначення, тобто одночасно виконувати й попередню задачу захисту цивільного населення у випадку військової загрози.

Серед перспективних тенденцій освоєння георесурсів міст слід відзначити поки що поодинокі випадки системного планування розвитку «підземних міст». Особливо показовим є розвиток столиці Фінляндії Гельсінкі, підземна частина якого (рис. 1.1) утворилася не як сума окремо збудованих в різні часи незалежних локальних об'єктів, а як підземне місто споруджене за єдиним планом, розробка якого розпочалася ще 1972 р. [7]. За цей час було побудовано близько 400 пов'язаних один з одним підземних об'єктів різного обсягу й складності загальною площею близько 9 млн. м<sup>2</sup>: торгівельні й розважальні центри, унікальні об'єкти спортивної інфраструктури (серед яких басейни, стадіони, скейт-парки), концертні зали, музеї (зокрема новий Центр сучасного мистецтва «Amos Rex»), вокзали, підземні паркінги, культові споруди тощо. Підземний Гельсінкі – це понад 200 км тунелів значних перерізів (до 21 м<sup>2</sup>), у яких знаходяться труби каналізації, водопроводу, теплопостачання й унікальної системи автоматичних сміттєпроводів, що витіснила автомобілі-сміттєвози й сміттєві баки з вулиць міста. Питна вода подається в Гельсінкі із заміського озера по найбільшому тунелю в світі (довжина – 120 км, ширина – 3 м, висота – 5 м).

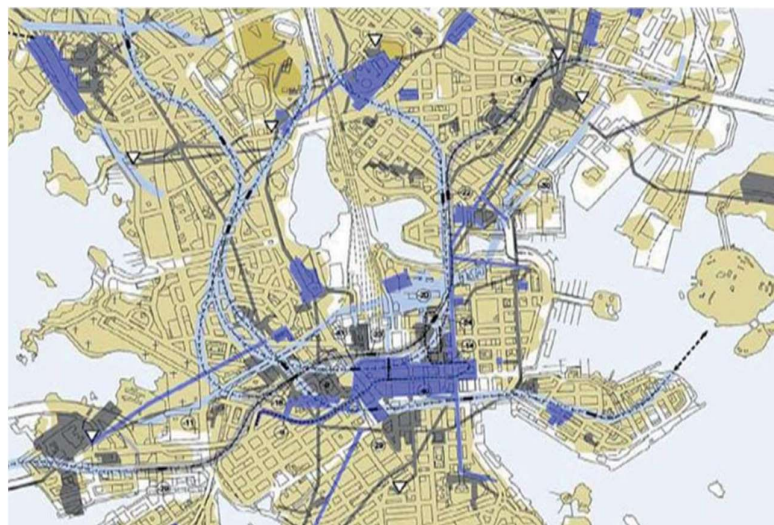


Рисунок 1.1 – Фрагмент генерального плану підземного Гельсінкі (2014 р.). Сірий колір – існуючі підземні об'єкти й об'єкти геобудівництва, світло-блакитний – зарезервовані маршрути для проведення нових тунелів, синій –

зарезервовані ділянки для перспективного освоєння підземного простору, гірничий – зарезервовані ділянки без визначеного функціонального призначення.

Системний плановий підхід до розвитку підземного простору, продемонстрований Гельсінкі, виявився ефективним та перспективним і може бути успішно використаний для багатьох мегаполісів світу, проте кожний мегаполіс має свої інженерно-геологічні, рельєфні й гідрологічні особливості, мету й завдання розвитку підземної урбаністики, тому механічне перенесення конкретного проекту будівництва в умови інших міст не може бути успішним.

Ще одним перспективним напрямком майбутнього освоєння підземного простору є концептуальне рішення «підземного міста» як окремої величезної будівлі, що розділена на кілька функціональних ярусів і забезпечує мешканцям майже всі зручності й звичні умови життя [13]. Здебільшого такі «хмарочоси навпаки» проєктують як окремі, локальні (хоча й масштабні) підземні об'єкти. Іноді передбачають їх розміщення на віддаленні від існуючих великих міст (приміром у кар'єрі відпрацьованої кімберлітової трубки «Мир» у Якутії), або навпаки - в центрі мегаполісів (проект «хмарочосу-навпаки» під центральною площею Мехіко). Площа перерізу таких споруд є значно меншою від площі мегаполіса, тому дані проєкти слід розглядати лише як можливі елементи «підземного міста», яке простягається на всій території під мегаполісом. Їх принципова новизна полягає в розміщенні під землею житлових комплексів і спробах вирішення складної наукової проблеми постійного (довготривалого) перебування людини в підземному просторі.

Таким чином, спостерігається глобальна зацікавленість в масштабному освоєнні підземного простору великих міст, спостерігаються тенденції спорудження масштабних підземних об'єктів та їх комплексів, поєднання окремих підземних споруд транспортними комунікаціями в систему «підземного міста», розвиток якого має стратегічний плановий характер.



## 1.2 Проблеми планування підземного простору великих міст

Великі міста України помітно відстають від світових лідерів за масштабами геобудівництва та планування міського підземного простору. Будівництво підземних об'єктів стало звичайною практикою в таких містах як Київ, Харків, Дніпропетровськ, Одеса та Львів, проте потенціал міського підземного простору використовується не повною мірою.

Це пов'язано не тільки з економічними питаннями інвестицій, але, значним чином, з відсутністю «якісних пропозицій», тобто майстер-планів розвитку підземної інфраструктури відповідного рівня, узгоджених з генеральними планами забудови міст. Зарубіжні аналоги таких майстер-планів не можуть бути прямо запозичені для українських міст, оскільки їх реалізація завжди здійснюється у винятковому інженерно-геологічному середовищі, кожне місто має свій індивідуальний характер забудови, своєрідний рельєф, гідрологію й навіть філософію розвитку. Такі стратегічні плани повинні розроблятися на базі спеціальних досліджень з попередньою розробкою наукових засад системного планування підземного простору міста. Методологія побудови подібних майстер-планів поки що розроблена не повною мірою.

Відсутність загальної бази існуючих і запроектованих підземних об'єктів, інформація про які зосереджена в різних відомствах та організаціях може призвести до ситуацій, коли спорудження нового підземного об'єкту наштовхувалось на інший, вже існуючий об'єкт (такі аварійні випадки траплялися у Києві).

Проектування і будівництво підземних об'єктів здійснюють різні, не пов'язані між собою організації, які орієнтуються на здебільшого на особні вимоги замовників тих або інших об'єктів.

Крім того, бракує чіткого розмежування й узгодження таких видів діяльності як «містобудування» та «надрокористування», що ускладнює раціональне використання георесурсів. Усе це свідчить, що на сьогодні відсутній системний підхід до розвитку підземного простору мегаполісів, не обґрунтовані

способи комплексного використання георесурсів мегаполісів, недостатньо застосовуються інноваційні технології та принципи ресурсозбереження в підземному будівництві [17].

Будуються зазвичай «разові» об'єкти, не пов'язані з іншими підземними спорудами. Велике розмаїття підземних споруд і їх функцій, техніки й технологій їх спорудження, а також конкуренція відповідних проектних і будівельних організацій не сприяють узагальненню та координації міського підземного будівництва. Навіть наукові й освітні кадри з геобудівництва зосереджені в різних за профілем університетах і НДІ (гірничих, будівельних, транспортних), що зумовлює дещо відмінні методологічні підходи до проблем підземного будівництва [18].

Згідно наукової класифікації будівельна геотехнологія належить саме до гірничих наук [19, 20], оскільки жодна інженерна конструкція не знаходиться в такій залежності від складу, будови і властивостей гірських порід (ґрунтів), як підземна споруда – об'єкт створений у гірському масиві. Наукова значимість сучасної концепції гірництва як комплексного освоєння та зберігання надр полягає в подоланні вузького уявлення про гірництво як лише про видобуток і переробку корисних копалин. Освоєння підземного простору бачиться як галузь науки та виробництва, пов'язана з будівництвом підземних споруд або пристосуванням природних і техногенних порожнин земної кори для розміщення в них різноманітних об'єктів життєзабезпечення [19-21].

Попри усталену наукову приналежність геобудівельних технологій до гірничої справи, практика міського підземного будівництва свідчить про наявність різногалузевих «гравців» на освоєнні окремих об'єктів. Це останнє само по собі не є вадой й може породжувати здорову конкуренцію, а часом і взаємодопомогу при вирішенні «вузьких питань», але лише в тому випадку, коли існує узгоджений стратегічний план розвитку підземного простору міста. Його побудова вимагає поєднання методів освоєння підземного простору й містобудування (тобто синтези гірничих і будівельних наук) і повинна стати невід'ємною складовою стратегічних планів розвитку мегаполісів.

Системний підхід при плануванні підземної урбаністики мегаполісу полягає у розумінні проблеми освоєння підземного простору міста не як разового (локального) будівництва окремих підземних об'єктів, а як реалізації системного підходу та комплексного планування розвитку підземної урбаністики мегаполіса у відповідності до тенденцій розвитку міста в майбутньому.

Системний підхід вже успішно реалізовувався в гірничій справі при проектуванні та будівництві комплексів гірничих виробок вугільних шахт, але увага приділялася здебільшого оптимізації функціональності мереж підземних виробок [22]. Застосовувалась ідея щодо системного планування міського розвитку [23–25], проте це стосувалося лише наземної забудови й мало свою специфіку містобудування. Системне регулювання освоєння підземного простору мегаполісів є однією з найбільш актуальних і одночасно мало досліджених і складних проблем, воно повинно об'єктивно відобразити динаміку змін і осмислення нових перспектив розвитку великих міст, проте сучасні напрацювання поки що не йдуть у цьому питанні далі узагальнень і постановки завдань досліджень [26, 27].

Тісно пов'язані з системним плануванням підземного простору питання вдосконалення геобудівельних технологій, спрямовані на розширення можливостей ефективного застосування способів будівництва підземних споруд у різноманітних геологічних та техногенних умовах на засадах енерго- та ресурсозбереження, що може зменшити будівельні та енергетичні витрати й підвищить конкурентоспроможність підземних споруд в умовах змінного геологічного середовища [28 – 32].

Системний підхід, як принцип обґрунтування методології системного аналізу й синтезу, спирається на поняття системи, через яку конкретизується сутність управління [33, 34]. Саме тому вірно обрана для дослідження система здатна збільшити ефективність регуляційних процесів і відкрити нові потенції науково-технічного пізнання. Серед великого розмаїття визначень поняття «системи», яке зустрічається в наукових джерелах, відзначимо введене академіком К.М. Трубецьким узагальнене поняття «геосистеми», яким

відображується сукупність природних і штучно створених об'єктів, що мають властивості системи, яку створюють або використовують з метою освоєння надр [20]. Близькими для освоєння підземного простору можуть бути визначення природничо-технічної системи як сукупності інженерної споруди з частиною прилеглого геологічного середовища, що впливає на споруду й має операційно фіксовані границі [35]. Для умов підземного будівництва можна застосовувати введене Г.К. Бондариком і Л.А. Янгом поняття «літотехнічної» системи [36, 37], яка відміну від природничої (літологічної) є керованою людиною й належить до класу кібернетичних систем [38, 39]. Режим функціонування природничо-технічної (або «літотехнічної») геосистеми передбачає дві стадії: 1) невстановленого режиму, характерного для періоду будівництва виробки й підземної споруди; 2) умовно стабільного режиму, властивого для періоду консолідації геологічного середовища, вміщуючого підземну споруду, й затуханню зміщень порід. Ці стадії відрізняються різними можливостями управління геомеханічними процесами.

Для будівельних геотехнологій (проектування, будівництво й експлуатація підземних споруд) широкого розповсюдження набула геосистема «гірський масив – підземна споруда», яка лежить в основі сучасних геомеханічних уявлень про взаємодію інженерної споруди й оточуючого середовища й дозволяє вести розрахунки параметрів відповідних будівельних конструкцій з урахуванням властивостей масиву гірських порід [28, 40]. Для врахування впливу технології спорудження й кріплення підземних споруд зазначена система була доповнена А.В. Корчаком складовою «технологія» («масив – технологія – підземна споруда»), що досить вдало відображує взаємозв'язки елементів для локальних об'єктів у більш-менш однорідних масивах. При цьому геомеханіка розглядає гірський масив (сферу взаємодії геологічного середовища з підземною спорудою) як фактор зовнішнього впливу на споруду, а інженерна геологія, навпаки – вбачає в споруді фактор зовнішнього впливу на геологічне середовище [36], хоча в обох випадках є розуміння взаємодії зазначених підсистем.

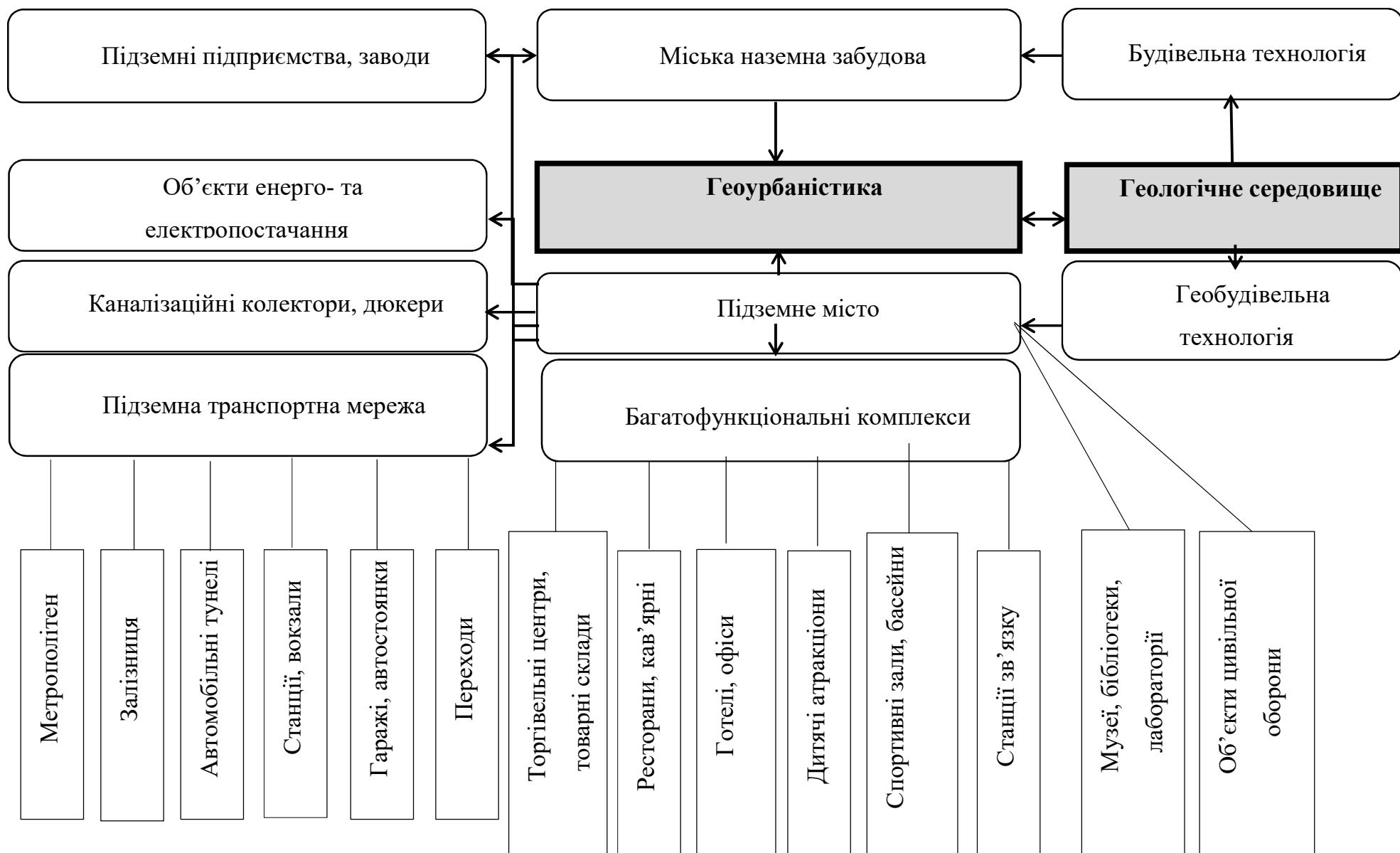
Усі розглянуті вище підходи до обрання геосистеми та її складових ставлять за мету забезпечення стійкості й функціональності окремої підземної споруди і не передбачають розгляду масштабної взаємопов'язаної системи в масштабі «підземного міста». Проте, із збільшенням кількості й розмірів протяжних підземних об'єктів і поєднанням їх у комплекси зі спорудами камерного типу, властивості оточуючих гірських порід можуть зазнавати значних змін, тому поняття «породний масив» повинно трансформуватися в «геологічне середовище» в якому будуть знаходитись різноманітні об'єкти розгалуженої підземної інфраструктури. Крім того, потребує врахування взаємодія об'єктів наземної та підземної урбаністики, а також підземних об'єктів між собою. Це створює суттєву відмінність у відображенні факторів впливу в локальних і масштабних геосистемах, причому їх опис в межах розглянутих вище підходів нашо вхується на зримі протиріччя.

Таким чином, розповсюджена методологія вирішення локальних задач підземного будівництва стає недостатньо результативною для системного освоєння підземного простору мегаполісу, планування «підземного міста». Ефективна геосистема повинна враховувати змінність властивостей геологічного середовища в просторі мегаполіса (в горизонтальній і вертикальній площині), можливості сучасних геобудівельних технологій; геомеханічні й структурно-функціональні зв'язки між підземними й наземними спорудами, а також сприймати прогностні показники потреб міста в темпах розвитку тієї чи іншої інфраструктури. Виходячи з цього, проблема «масштабного ефекту» освоєння підземного простору і пов'язаних з ним ризиків повинна знайти нову наукову методологію на базі методів системного аналізу.

Важливим кроком у цьому напрямку стала розробка комплексної природничо-технічної системи «геоурбаністика – геологічне середовище» (рис. 1.2), яка охоплює складність і різноманітність взаємин технічних і природних чинників наземної й підземної урбаністики мегаполісу [41, 42]. Підсистема «геоурбаністика» у свою чергу складається з двох підсистем – наземної та підземної забудови міста й відображає просторову організацію міського життя (як

у горизонтальних, так і у вертикальних напрямках), а також еволюцію та функціонування міських систем різного рівня. Завданням виділених підсистем є відображення структурно-функціональних зв'язків і техногенних впливів наземних і підземних споруд міста між собою.

Одним із підходів до системного розвитку геоурбаністики може бути транзитно-орієнтоване проектування (transit-oriented development, TOD) з розвитком «інтелектуальних транспортних систем» [43, 44]. У підземній транспортній мережі в центрах транзитно-орієнтованого проекту розташовуються станції метрополітену й підземні вокзали, які оточуються відносно щільною підземною забудовою: багатофункціональні комплекси, торгівельні й розважальні центри, парковки, гаражі, склади, спортивні споруди, об'єкти цивільної оборони тощо. Щільність підземної забудови зменшується при віддаленні від зазначених центрів. Модель геоурбаністики мегаполісу включає «каркас» (головну структуротворчу частину системи, яка охоплює область зосередження найбільшої функціональної активності) і «тканину» (просторовий субстрат системи, що не потребує високої функціональної концентрації, структурно підпорядкований «каркасу»). При цьому каркас формують головні транспортні магістралі, комунікаційні вузли й пов'язані з ними будівельні комплекси, що привертають до себе потоки відвідувачів. Крім іншого, дана модель враховує стале обслуговування метрополітемом і автомобільними тунелями так званих «маятникових міграцій» (щоденних припливо-відливних рухів населення з периферії в центр і зворотно).



Застосування транзитно-орієнтованої системної моделі для планування підземного простору міста повинне додатково враховувати низку важливих особливостей планування. Перша – це фактор середмістя. Саме ця частина мегаполіса є суцільною зоною зосередження найбільшої функціональної активності й потребує централізації та збільшення потужності «каркаса» саме на території середмістя (утворення «ядра»). Вплив цього фактору не змінює характер розташування транспортних потоків, залежний від щільності мешканців, яка в деяких спальних районах значно перебільшує показник історичного середмістя. Проте підземний простір середмістя залишається найбільш активною зоною підземної забудови й функціонального використання. Приміром, у Токіо центральна частина міста має 16 підземних рівнів (поверхів), де зосереджені численні функції життєдіяльності середмістя [8].

З іншого боку, інженерна інфраструктура планується у відповідності до щільності населення тих або інших районів міста (визначається щільністю й поверховістю наземної забудови) і можливостей передавання функцій життєзабезпечення міста від наземних до підземних об'єктів (підземне водо- та енергозабезпечення, каналізація, транспортування сміття, системи телекомунікацій тощо). Окремим специфічним завданням планування є розміщення в підземному просторі потужних виробничих підприємств, розташованих у межах міста (заводи, фабрики, електростанції) та об'єктів цивільної оборони.

Іншою складовою виділеної системи виступає геологічне середовище, яке також складається з двох підсистем – природного і техногенного блоків (рис. 1.3). Згідно «СНиП 2.01.15-90» [45], геологічне середовище є багатокомпонентною, дискретною, динамічною природною системою, різноманітно та енергійно взаємодіючою зі спорудами. Вона складається з системи геологічних тіл різних рівнів, різної тектонічної порушеності та складу, обводненості, які поділяються на формації, субформації, стратиграфо-літологічні комплекси, петрографічні типи (пачки, товщі) та моноприродні системи.



У загальному визначенні, зазначеному в працях [46, 47], геологічне середовище охоплює частину простору, зайнятого геологічними тілами, які, знизу обмежуються – поверхнею, що відділяє породи змінні за будь-яким параметром складу, фізико-механічних, хімічних та інших властивостей в результаті прямих і опосередкованих впливів діяльності людини від таких, що не зазнали цих змін, а зверху денною поверхнею.

Характерною рисою геологічного середовища мегаполісу є те, що у цьому просторі природні геологічні утворення частково замінені наземними та підземними спорудами й антропогенними накопиченнями. Інженерно-геологічні процеси, які тут перебігають, підпорядковуються як природним так і техногенним чинникам. Геологічне середовище урбанізованої території зростає шляхом заглиблення інженерних споруд і утворення підземних комплексів, що характеризується переміщенням ґрунтових мас та створенням нових геологічних умов. Активне використання підземного простору впливає на гірські породи (ґрунти), які слугують їхньою основою (вміщуючим масивом). У результаті формується область взаємодії наземних і підземних споруд та гірських порід (ґрунтів), у межах якої відбуваються зміни стану й властивостей порід та гідрогеологічних умов.

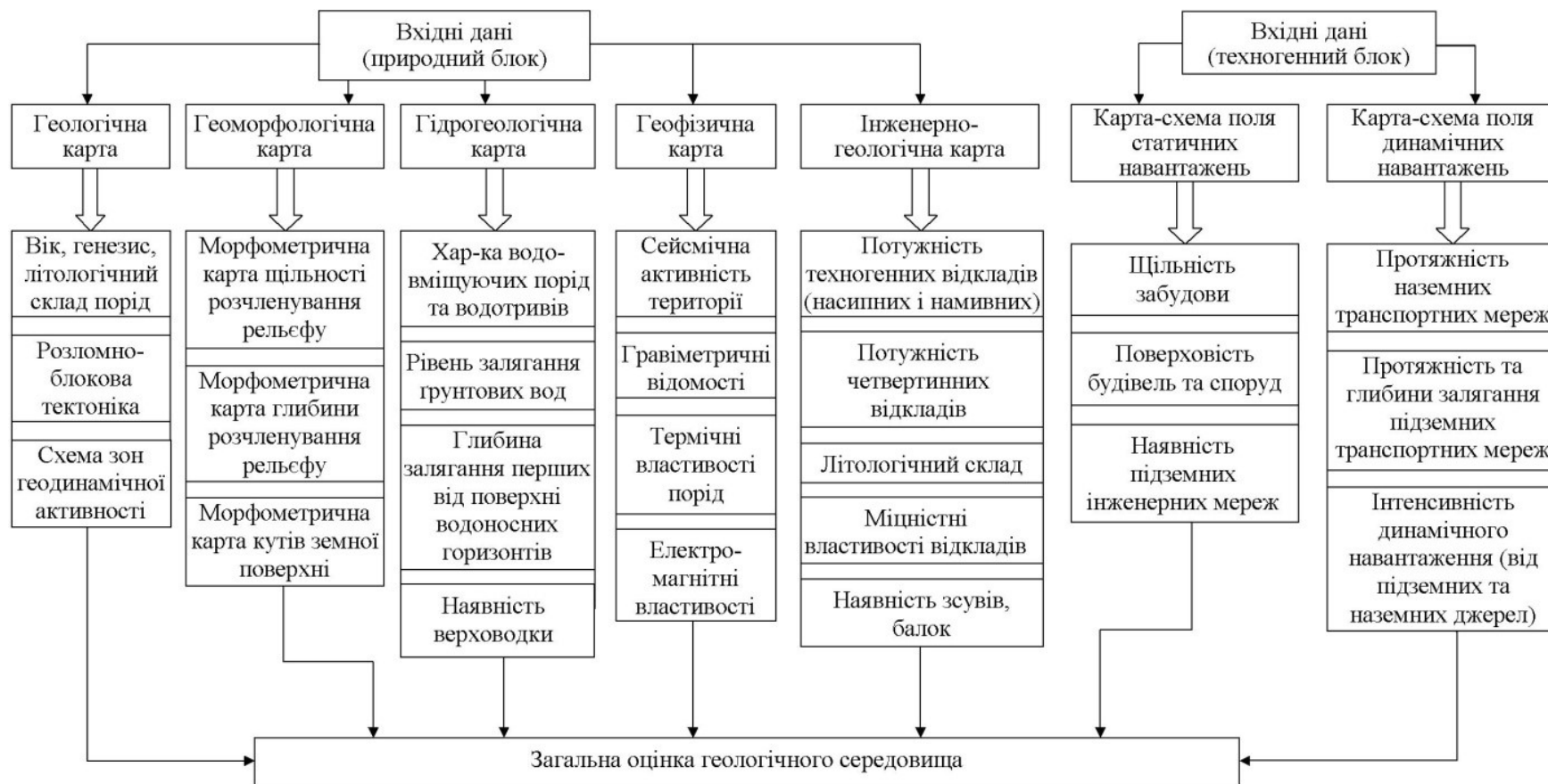


Рисунок 1.3 – Структура оцінки геологічного середовища при освоєнні підземного простору

Розроблена природничо-технічна система «геоурбаністика – геологічне середовище» була використана для вирішення задач типізації геологічного середовища при освоєнні підземного простору [48], що дозволило простежити зміни окремих його властивостей на території міста та побудувати тематичні карти ділянок будівництва за різними факторами впливу (рис. 1.4).

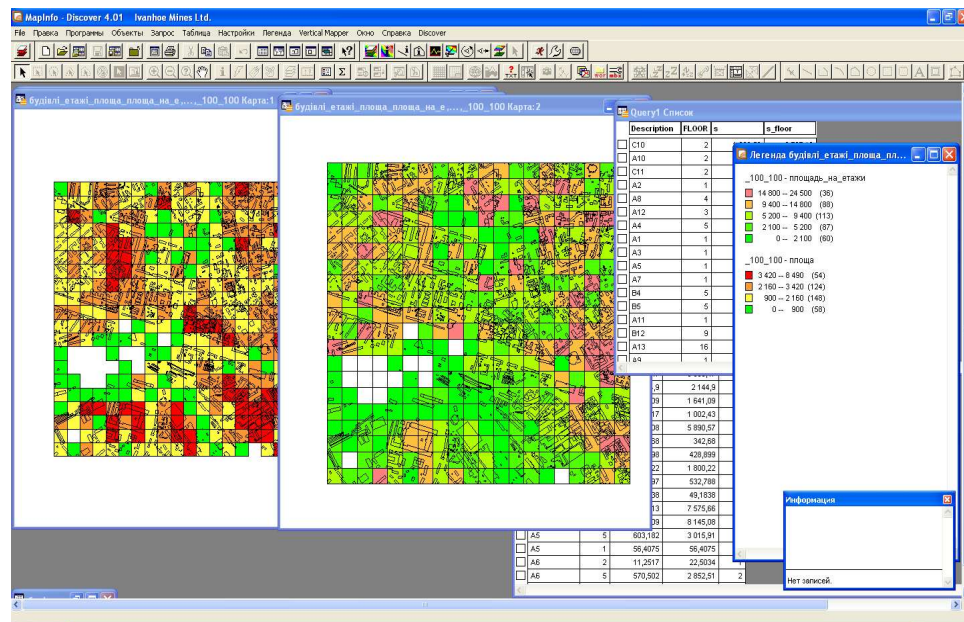


Рисунок 1.4 – Тематичні карти за факторами «щільність забудови» та «поверховість»

Отримані результати стосувалися стану ґрунтів біля денної поверхні, але розроблена методика могла бути застосована й для підземних будівельних об'єктів. Відмічаючи перспективність подібних досліджень, зазначимо також складність врахування в даній методиці великої кількості факторів впливу, їх зв'язків і взаємовпливів, неможливість використання груп факторів структурно-функціонального характеру, складність опрацювання інформації.

Таким чином, дослідження останнього періоду свідчать, що системний підхід до планування підземного простору з урахуванням його геологічних та ландшафтних особливостей, розкриття й використання взаємозв'язків геологічного середовища, техногенних та структурно-функціональних факторів, оцінкою ризиків підземного будівництва дозволить вийти на якісно новий етап

освоєння георесурсів великих міст, забезпечить значне збільшення обсягів геобудівництва й створення розгалуженого багатофункціонального «підземного міста» – невід’ємної складової майбутніх мегаполісів.

### **1.3 Морфологічний аналіз як наукова методологія для планування системи альтернативних проектних конфігурацій підземного простору**

Регулювання розвитку міського підземного будівництва є однією з найбільш актуальних і одночасно малодосліджених та складних для розв’язання проблем. Просторовий розподіл міських об’єктів формує просторову структуру міста, яка формує наземну й підземну урбаністику, а взаємозв’язки цих об’єктів – функціональну структуру. Сфера регулятивних впливів на складні, змінні й часом неоднозначні зв’язки геологічних і функціонально–просторових урбаністичних проектних конфігурацій потребує використання спеціальної системної технології, якою, на думку автора, може виступати метод морфологічного аналізу (ММА) [49, 50].

Розвиток системного аналізу як наукової методології нерозривно пов’язаний із тенденцією постійного підвищення складності систем різної природи – технічних, соціальних, економічних тощо, і, відповідно, задач і проблем, з якими доводиться стикатися людству в різноманітних сферах своєї діяльності [33]. Ряд характеристик таких систем унеможливорює або робить неефективним використання традиційних методів дослідження операцій. Серед таких характеристик можна виділити: унікальність; відсутність формалізованої цілі функціонування; відсутність оптимальності; динамічність; неповноту опису; наявність свободи волі тощо.

Так, наприклад, традиційні методи математики і статистики фактично екстраполюють ретроспективні дані кількісного характеру на майбутнє, що є достатнім тільки у разі дослідження монотонних процесів. Однак нашому світу властиві якісно нові, стрибкоподібні зміни, які мають характер суттєво нелінійних явищ, і в цих обставинах методи кількісного прогнозування не є застосовними.

Тому для завдання дослідження майбутнього, яке є не просто продовженням минулого, а набуло принципово відмінних форм в результаті певних якісних змін, використовують методологію, що дістала назву передбачення [50, 51]. Можна вважати, що передбачення – це процес прийняття рішень для складних систем із людським фактором щодо їхньої можливої поведінки в майбутньому. Такий процес зводиться до застосування окремих методів у певній послідовності із встановленням чітко визначених взаємозв'язків між ними. Він формується за допомогою більш універсальної методології, відомої як сценарний аналіз.

Завдання сценарного аналізу є дуже складним через ряд труднощів, серед яких [52]:

- невизначеність, неповнота, неточність вихідних даних;
- відсутність формалізованості;
- необ'єктивність дослідника через упередженість, схильність до оптимістичного або песимістичного уявлення про майбутнє, вузький погляд на ситуацію, "підгін" фактів під певну схему тощо;
- складність взаємодій між об'єктами в реальному світі – зміна в одному об'єкті може вплинути на всю систему;
- здатність малих впливів викликати суттєві наслідки («ефект метелика»). Наприклад, завдяки мережі Інтернет деяка ідея або інформація однієї людини за лічені часи може стати відомою всьому світу і таким чином здійснити вплив на глобальну ситуацію;
- невизначеність цілей;
- нескінченність варіантів розвитку подій.

Для подолання цих перешкод постійно вдосконалюється методологічний апарат, що залучає різні методи якісного аналізу, враховуючи переваги і недоліки кожного з методів, особливості досліджуваної системи щодо топології взаємозв'язків між її внутрішніми елементами, характер інформації, що циркулює в системі (кількісної чи якісної), суперечливість критеріїв, та інші аспекти.

Оскільки вищезазначені задачі принципово не можуть мати єдиного найкращого рішення, метою розв'язання таких задач є пошук раціонального

компромісу у відповідності до потреб і побажань проектанта, що приймає рішення (ОПР). Для забезпечення всебічного, об'єктивного і науково обґрунтованого аналізу якості і ефективності прийнятої стратегії дій людини в системі людина/об'єкт/середовище необхідно залучення системних аналітиків.

Таким чином, можна сформулювати визначення для системного аналізу [33]: системний аналіз – це прикладна наукова методологія, що спирається на широке різноманіття системно організованих, структурно взаємопов'язаних і функціонально взаємодіючих евристичних процедур, математичних методів, методичних прийомів, алгоритмічних програмних і обчислювальних засобів, яка забезпечує формування цілісних, міждисциплінарних знань про досліджуваний об'єкт як про сукупність взаємопов'язаних процесів різної природи для подальшого прийняття рішень щодо його розвитку і поведінки з урахуванням множини конфліктних критеріїв і цілей, присутності факторів ризику, неповноти та недостовірності інформації.

Одним із найбільш ефективних для багатокритеріальної підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності виступає метод морфологічного аналізу. В галузі планування і прийняття рішень виділяють такі практичні напрями застосування ММА [53]:

- 1) Дослідження і відслідковування інформації. Морфологічний аналіз може бути використаним для вивчення зовнішнього контексту функціонування організації в майбутньому і постійного відслідковування відносно змін конфігурації зовнішніх факторів, які могли б призвести до необхідності зміни лінії поведінки. Такий нагляд може здійснюватись за рахунок періодичних нарад осіб, що приймають рішення, і ММА може значно полегшити сприйняття наявної інформації.

- 2) Формування внутрішньої стратегії. ММА може бути використаним для побудови морфологічної таблиці простору внутрішньої стратегії відносно простору зовнішніх факторів. Таким чином можна в певній мірі забезпечити відсутність несподіваних змін зовнішнього світу, які перешкоджають виконання обраних стратегій.

3) Побудова стратегій реакції. За наявності морфологічного простору зовнішнього середовища можливе створення стратегій-відповідей на загрози або події, що можуть потенційно виникнути в майбутньому, таким чином зменшується ступінь невідповідності стратегії зовнішнім факторам.

4) Використання ієрархічних таблиць. ММА може бути застосованим на різних контекстуальних рівнях [54], що дає змогу побудувати систему вкладених морфологічних таблиць послідовних ієрархічних рівнів, в якій зміна одного з факторів призводить до перегляду результатів інших рівнів і галузей. В перспективі можлива побудова узагальненого каркасу ієрархічного морфологічного дослідження, наприклад, особа-організація-галузь промисловості-держава-регіон-планета [53], в рамках якого розв'язуються конкретні морфологічні задачі.

5) Цільовий збір даних. ММА задає чітку структуру необхідних для збору даних, що робить більш продуктивними процедури отримання інформації від експертів. Таким чином можна запобігти розрізненості і неузгодженості даних, часто притаманних діяльності по дослідженню сучасних проблем.

Планування можна розглядати в двох аспектах: реактивному (якщо вважається, що економічні, політичні, соціальні, технологічні та інші чинники визначають майбутній плин подій і метою планування є побудова стратегії реакції на можливу комбінацію чинників) і формативному (якщо вважається, що ми можемо вплинути на майбутнє і шукаємо найкращий спосіб це зробити) [55]. Універсальність ММА полягає у тому, що за його допомогою можна залучати обидва способи планування, надаючи різний зміст елементам морфологічної таблиці.

Спеціально для задач сценарного аналізу була розроблена спеціальна модифікація методу морфологічного аналізу (МММА) [50, 56]. Її метою є надання підтримки прийняття рішень за умов ситуаційної невизначеності, яка є однією з головних типів невизначеності, притаманних задачам системного аналізу.

Основним напрямком застосування розробленого системного підходу в процесі сценарного аналізу є задачі, в яких розглядаються об'єкти (процеси,

явища), природа яких породжує дуже велику кількість можливих альтернатив за рахунок комбінування їх структурних елементів. Джерелом невизначеності щодо об'єкта, який розглядається за допомогою МММА, є неможливість визначити, яка саме конфігурація об'єкта буде обрана в момент його реалізації, тому для прийняття обґрунтованого рішення необхідно розглядати всю потенційну сукупність конфігурацій об'єкта. Ця невизначеність може бути спричинена декількома факторами:

1) відсутня детальна інформація про конфігурацію об'єкта. Така відсутність інформації може бути зумовлена тим, що а) об'єкт розглядається в майбутньому – через деякий проміжок часу або після настання певної події; або б) ОПР і аналітик на момент розв'язання задачі не мають можливості отримати точну інформацію з технічних або інших причин (наприклад, якщо розглядається будова поверхні іншої планети або плани конкуруючої організації);

2) необхідно розглянути різноманіття конфігурацій об'єкта у сукупності. В даному випадку за допомогою морфологічної таблиці описується множина об'єктів, характеристики або складові яких можуть бути відомими, а невизначеність полягає у тому, яка саме конфігурація альтернатив параметрів об'єкта з'явиться при наступній реалізації. Прикладом таких об'єктів морфологічного аналізу можуть бути аварії в транспортній системі міста або профілі користувачів деякої системи;

3) приймається рішення, яку конфігурацію об'єкта обрати. Формально цей випадок схожий на перший, однак принципова відмінність полягає в тому, що невизначеність не спричинюється зовнішніми факторами, тому тільки вибір рішення ОПР є розкриттям цієї невизначеності. Модифікований метод морфологічного аналізу може бути використаним в процесі сценарного аналізу як самостійно, так і в поєднанні з іншими методами (рис. 1.5).



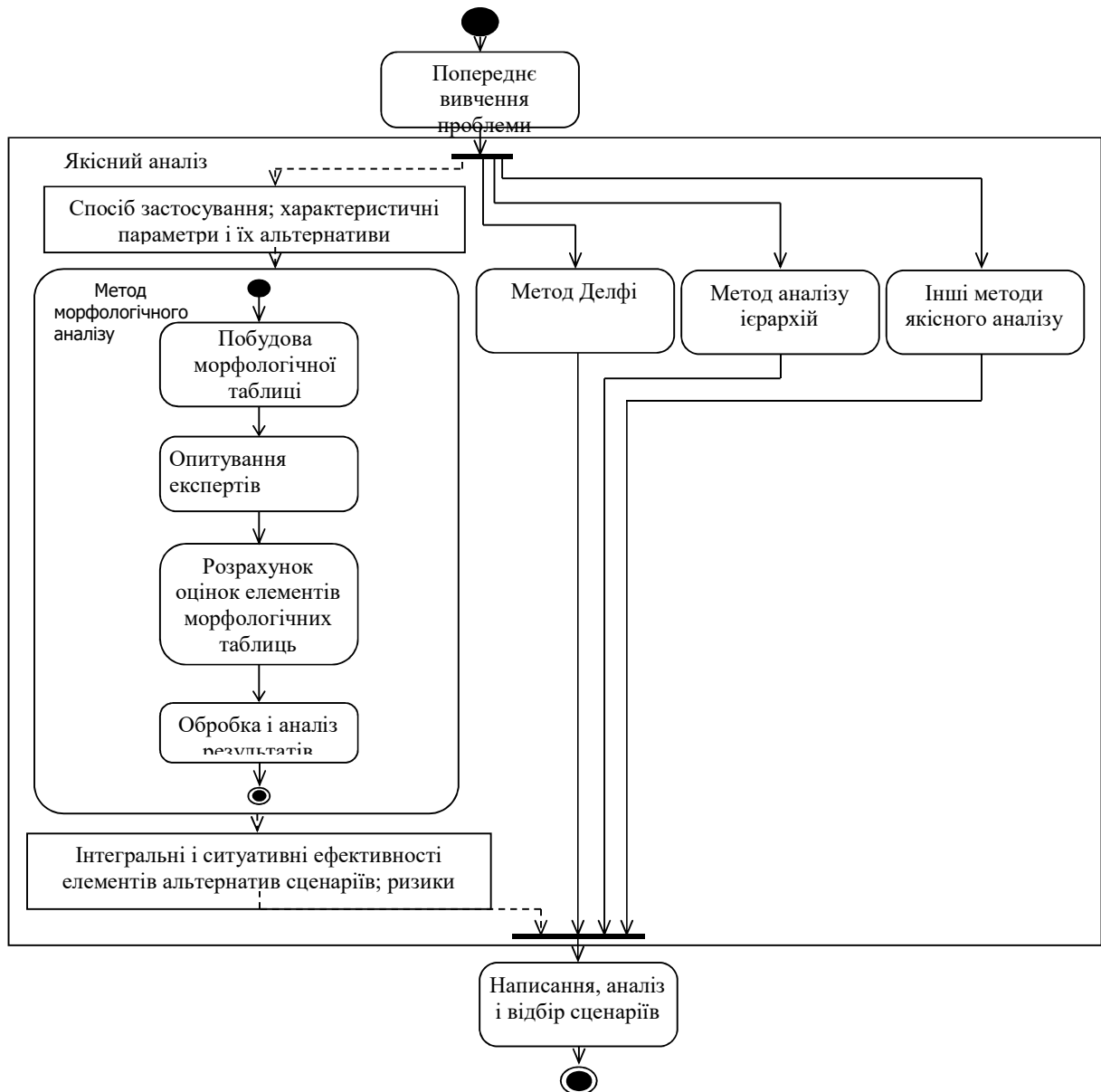


Рис. 1.5 – Місце морфологічного аналізу в процесі передбачення

На етапі попереднього вивчення проблеми здійснюється вибір найраціональнішого способу застосування методу для аналізу проблеми, що виникла, визначення характеристичних параметрів і альтернатив; на етапі якісного аналізу будується морфологічна таблиця, проводиться опитування експертів, обробляються результати опитування, формується морфологічна модель, проводяться необхідні розрахунки; на етапі написання і відбору сценаріїв використовуються результати роботи методу – оцінки альтернатив елементів

сценаріїв з точки зору впливу на розглядувану ситуацію або проблему; оцінки альтернатив сценаріїв при конкретних реалізаціях або групах реалізацій розглядуваної ситуації; ризики, що виникають при виборі певних альтернатив елементів сценарію.

Таким чином, основою наукової методології для планування підземного простору мегаполісу доцільно обрати модифікований метод морфологічного аналізу, який добре зарекомендував себе у розв'язанні проблемних ситуацій, об'єкти яких можуть мати велику кількість альтернативних конфігурацій за рахунок комбінування різних значень параметрів [57-59]. Він дозволяє, спираючись на характеристики геологічного середовища і техногенні фактори, а також функціональні характеристики об'єктів розглянути низку рішень і груп ризиків для оцінки доцільності освоєння підземного простору на різних територіях і потенційних будівельних ділянках.

#### **1.4 Постановка задач досліджень**

Як показав аналіз проблеми планування міського підземного простору, методи системного підходу, які раніше використовувались для оптимізації розвитку поверхневої (наземної) забудови міст не можуть бути автоматично перенесені на об'єкти підземної інфраструктури, де значною мірою зростає роль змінного геологічного середовища, в якому споруджуються та експлуатуються підземні об'єкти та їх комплекси. Виходячи з цього оцінка багатфакторних ризиків і рівня сприятливості геологічного середовища розвитку підземної урбаністики залишається актуальним питанням збільшення обсягів міського підземного будівництва.

Мета роботи полягає в системному обґрунтуванні планування підземного простору мегаполісів в змінному геологічному середовищі.

Для досягнення поставленої мети в дисертації були сформульовані й вирішені наступні задачі досліджень:

1. Формування бази даних геологічного середовища правобережного Києва для планування розвитку підземної урбаністики.
2. Адаптація модифікованого методу морфологічного аналізу для задач освоєння підземного простору мегаполісів в умовах багатofакторних ризиків.
3. Розробка морфологічних моделей та оцінювання сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики.
4. Дослідження впливу зміни властивостей геологічного середовища на стійкість підземних споруд мілкоого закладання.

## РОЗДІЛ 2

### СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОСВОЄННЯ ГЕОРЕСУРСІВ МЕГАПОЛІСУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ ТА БАГАТОФАКТОРНИХ РИЗИКІВ

#### 2.1 Формування бази даних властивостей ґрунтів правобережного Києва

Прийнятий за основу наукової методології для планування підземного простору мегаполісу модифікований метод морфологічного аналізу (див. п. 1.3) потребує об'єктивних характеристик геологічного середовища в якому будуть споруджуватися та експлуатуватися підземні об'єкти та їх комплекси. Для формування бази даних геологічного середовища в межах території правобережного Києва (як найбільш перспективної для освоєння підземного простору частини міста) був зібраний і узагальнений матеріал інженерно-геологічних пошукувань провідних будівельних компаній Києва (локалізація відповідних будівельних ділянок приведена на рис. 2.1).

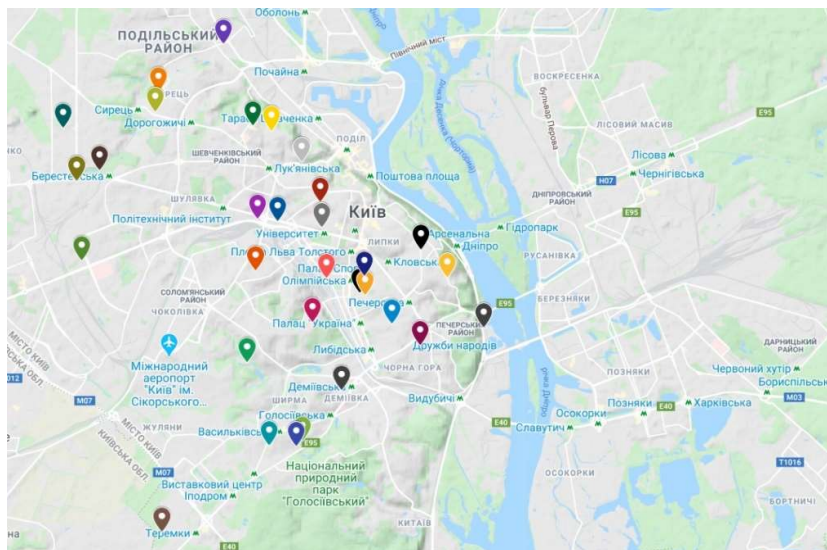


Рисунок 2.1 – Локалізація місць глибинного відбору проб ґрунту

Згідно інженерно-геологічного районування ділянка дослідження знаходиться в регіоні Дніпровсько-Донецької западини в інженерно-геологічній області акумулятивної Черкасько-Прилуцької рівнини.

У рельєфі виражені такі орографічні одиниці на території розташування

геодинамічної мережі м. Києва: Київське підняття, що розташоване на північно-східному схилі Придніпровської височини, південна частина Поліської низовини, що прилягає до нього з півночі, та Придніпровська низовина – зі сходу.

Природною межею між Придніпровською височиною, Поліською низовиною та Придніпровською низовиною є русло р. Дніпро, що поділяє район досліджень на правобережну та лівобережну частини.

Найбільш піднесені ділянки Київського «плато» у правобережній частині мають абсолютні висоти від 185 до 210 м (Батієва гора, Печерськ, Лук'янівка, Звіринець, правобережжя р. Стугни та ін.). Вони характеризуються глибоким - більш 80 м і густим - 1,5-2 км/км<sup>2</sup> розчленуванням. Значне вертикальне розчленування рельєфу простежується також в районі Вишгорода, на ділянці від Вітряних гір до Телички, в районі Совок, а також за межами міста - від с. Хотів до р. Стугна. Вододіли являють собою невеликі ізольовані останці рівнини, розташовані на межиріччі Дніпро-Либідь та Сіверка - Стугна. Кути нахилу поверхні схилів долин р. Стугна, Либідь та їхніх приток, а також балок, ярів у середньому складають 5-12°, дуже круті та стрімчакові схили (10-20°) поширені локально вздовж крутого правого берега Дніпра.

Більш низьке гіпсометричне положення займає Поліська низовина, де абсолютні відмітки знижуються від 180 до 130 м. Горизонтальне розчленування рельєфу незначне. Щільність горизонтального розчленування складає 0,25—1,0 км/км<sup>2</sup>. Глибина вертикального розчленування не перевищує 15-30 м. Кути нахилу поверхні на більшій частині території - до 2° (переважно 0°30' - 0°45'), на схилах річок та яружно-балкових форм збільшується до 4°.

Лівобережна частина міста має відмітки поверхні 93-140 м і являє собою терасовану рівнину з флювіальним рельєфом, що характеризується мінімальними значеннями морфометричних показників, але вона була поза межами ділянки досліджень.

Гідрографічна мережа складається з річок басейну р. Дніпро, який є основною водною артерією на території Київського геодинамічного полігону.

Крім того, до неї входять пригирлова частина Десни, нижній створ Київського водосховища, р. Сіверка, Ірпінь, Стугна, дрібні ріки та струмки, що протікають по території міста (Либідь, Нивка, Віта, Демидівка, Дарницький струмок тощо).

Річка Дніпро в межах міста та на його околицях утворює велику кількість рукавів, приток (Чорторий, Десенка, Козинка), стариць, островів (Долобецький, Труханів, Водників, Козачий, Ольгин та ін.). В заплаві Дніпра знаходиться велика кількість старчих озер таких як: Радуга, Вирлиця, Святище, Острівки тощо. Ширина основного русла ріки коливається від 0,4 до 1,6 км, а глибина змінюється від 1,5 до 9,0 м. Переважають глибини 4-6 м.

Серед інших водних об'єктів правобережного Києва потрібно згадати передусім р. Либідь. Її довжина становить 16 км, площа водозабору – 66 км<sup>2</sup>. Характерна особливість водозабору Либеді – велика частка урбаізованих територій.

Либідь бере початок у Солом'янському районі, впадає у Дніпро на нижній околиці міста, нижче Південного мосту. Основна частина річки проходить у штучно створеному руслі. Найбільша ділянка з природним руслом розташована поблизу гирла. Середньорічний стік Либеді становить 3.8 млн. м<sup>3</sup>, що відповідає витраті 0,12 м<sup>3</sup>/с.

Окрім річок, на території міста нараховується понад 400 озер і ставків. Великою за площею (92,0 га) є також затока Дніпра – Верблюд, яку ще називають озером Верблюжим. Вона розташована північніше масиву Оболонь.

Природній ґрунтовий покрив на забудованій частині території Київського геодинамічного полігону практично відсутній. До забудови він був представлений дерново-підзолистими піщанистими та супіщанистими ґрунтами, луговими, легко суглинистими, болотними піщаними а також сірими лісовими ґрунтами. Названі різновиди спосерігаються зараз у незабудованій частині території Київського геодинамічного полігону а також у паркових та рекреаційних зонах. В процесі урбанізації на значній території сформовано техногенні ґрунти на культурному шарі.

Рослинний покрив представлений лісовими, заплавленими, парковими та садовими типами. Під впливом господарської діяльності рослинний покрив змінюється та впливає на режим поверхневого та підземного стоку, зокрема послаблює розвиток небезпечних зсувних та ерозійних процесів.

З геологічної точки зору територія розташована в межах південно-західного крила Дніпровсько-Донецької западини. В геологічній будові беруть участь кристалічні породи і продукти їхньої руйнації, відклади палеозою (породи пермської системи), мезозою (породи тріасової, юрської, крейдової систем), кайнозою (породи палеогенової і неогенової систем) та четвертинної системи. Товща осадових порід (від пермських до четвертинних включно) відноситься до верхнього структурного поверху. Вона моноклінально занурюється в північно-східному напрямку. Кути падіння шарів зменшуються при переході від древніх до більш молодих нашарувань, для четвертинних відкладів вони майже дорівнюють нулю (від  $10^{\circ}$ - $25^{\circ}$  у відкладах Пермі та тріасу до  $5^{\circ}$ - $20^{\circ}$  у палеоген-неогенових відкладах). Для осадового комплексу є характерною наявність численних локальних і регіональних меж стратиграфічної і кутової незгідності. Це пов'язано з диференційованими, часто протилежно спрямованими переміщеннями блоків фундаменту. Завдяки цим переміщенням у товщі осадових порід є численні розривні порушення. Гідрогеологічна роль згаданих розривних порушень є надзвичайно великою, оскільки вони створюють зони підвищеної проникності в товщах відносно водотривких порід, через які здійснюється вертикальний зв'язок між водоносними горизонтами.

Найбільш крупними позитивними структурами осадового чохла є Рожнівська, Вишгородська, Пріорська, Броварська, Солом'янська, Ново-Дарницька, Дарницька, Бортницька, Петрівська. Серед негативних структур осадового чохла найбільш виразними є Ірпінська, Оболонська, Хрещатицька, Новоселівська.

Червоноколірний пермсько-тріасовий структурно-стратиграфічний комплекс поширений переважно в межах лівобережної частини полігону. Він складений

алевролітами, глинами, пісками, пісковиками загальною потужністю від 10 до 300 м.

Відклади юрської системи представлені пісками, піщанистими глинами, алевритами байоського ярусу, батськими глинами та алевритами, глинами, окременілими вапняками та мергелями келовейського і оксфордського ярусів, загальною потужністю від 130 до 200 м.

Відклади крейдової системи представлені нижнім (піски, каолінітові та вуглисті глини) і верхнім (кременисті пісковики, мергельно-крейдові породи) відділами. Потужність крейдових відкладів змінюється від 10-15 до 70-80 м.

Палеогенова система представлена канівською (глауконітові піски з прошарками глин), бучацькою (глауконітово-кварцеві піски), київською (мергелі, алеврити, фосфоритові піски), межигірською або харківською (глауконітово-кварцеві піски, алеврити) та берецькою (піски, вуглисті глини) світами загальною потужністю від 40 до 130 м.

Відклади неогену на території, що описується поширені широко і представлені нижнім-середнім міоценом (новопетрівська світа), верхнім міоценом- пліоценом (строкаті глини), і верхнім пліоценом (бурі глини). Всі ці відклади присутні тільки в межах плато Правобережної височини. Їх загальна потужність коливається від 3 до 50 м.

Четвертинні відклади майже суцільним чохлам перекривають більш древні геологічні утворення. Потужність четвертинних відкладів мінлива і коливається від декількох десятків сантиметрів до 40 м, іноді досягаючи 50-60 м. Відсутні четвертинні відклади тільки на окремих, дуже обмежених по площі, ділянках на крутих схилах правобережжя Дніпра.

Абсолютні відмітки підосви четвертинних утворень у м. Києві (за даними, отриманими по свердловинах “Київпроекту” ) коливаються від 62 м на лівобережжі до 165 м на правобережжі.

Четвертинні відклади характеризуються досить значною літологічною, фаціальною і, особливо, генетичною строкатістю, яка спостерігається як у просторі,



так і по вертикалі, в розрізах стратиграфічних горизонтів.

На Придніпровській терасовій рівнині мають розвиток переважно різновікові алювіальні відклади, еолові утворення, делювіальні, озерні і болотяні утворення. На правобережжі, в межах підвищеної рівнини поширені відклади лесової формації, що мають еолово-делювіальний та водно-льодовиковий генезис. Крім лесів, тут широко розвинені морені, водно-льодовикові, озерно-льодовикові і флювіальні відклади. Крім вказаних генетичних типів поширені елювіальні утворення, що представлені викопними ґрунтами. Вельми характерні для правобережжя також ділянки колювіальних (зсувних) утворень. Наявність глибоко врізаної мережі ярів забезпечила можливість появи пролювіальних відкладів. Важлива роль у відкладах четвертинної системи належить техногенним утворенням, які в районі м. Києва мають майже повсюдне поширення, досягаючи місцями потужності до 40 м. До цього типу рельєфу належать ерозійні останці, складені з поверхні лесами бузького горизонту та лесовидними гетерохронними суглинками удайсько-бузького віку.

Ерозійні останці являють собою височини, відносні висоти яких перевищують 15-35м над моренно-зандровою рівниною. Вони зустрічаються на ділянках між р. Сирець та Бабиним яром, Реп'яховим яром і Кмитовим яром, балкою Скоморох і долиною р. Либідь - Старокиївський останець, між долом Хреща-тицької балки, р. Либідь і Наводницькою балкою - Печорський останець, між Наводницькою балкою і р. Либідь - Звіринець та інші. Від «лесових островів», поширених на вододільних просторах і створених у результаті облесування водно-льодовикових відкладів, ці форми рельєфу відрізняються не тільки глибоким розчленуванням поверхні, але й історією формування. Останці являють собою середні і верхні частини схилів водно-льодовикової рівнини. Лесові породи на цих останцях займають високе гіпсометричне положення, у зниженнях вододільних поверхонь лесу немає і неглибоко залягає дніпровська морена (ділянки в районі вул. Пирогова, вул. Б.Хмельницького, Оперного театру, на Печерську - вул. Чигоріна й ін)

Важливе місце у рельєфі м. правобережного Києва займають схили на яких здійснюється деструкція, транспортування та акумуляція рельєфоутворюючих порід. З урахуванням головних рельєфоутворюючих схилових процесів виділяються схили природного екзогенного та техногенного походження, модельовані в процесі будівництва на урбанізованій території. Схили з крутизною від  $5^{\circ}$  та більше в районах розвитку порід, що легко розмиваються, а також в районах із значними відносними перевищеннями рельєфу, характеризуються широким розвитком площинного змиву та різноманітних форм лінійної ерозії (яри, балки).

Типовий балковий рельєф простежується у правобережній частині міста (Бабин яр, Глибочицька, Хрещатицька балка та ін.) Тут виділено балки двох типів: великі, довжиною 10-15 км, з виробленим повздовжнім профілем, значною глибиною врізу, з 1-2 балковими терасами, а також невеликі (від декількох сотень метрів до 1-5 км) з невиробленим повздовжнім профілем. Глибина врізу деяких балок змінюється від 5-10 м у верхів'ях до 100 м у пониззях. Багато з ерозійних балкових форм в межах міста сплановано, засипано при будівельних роботах при масовій забудові, що почала здійснюватися з 1940-50 рр.

Значним поширенням на правому крутому схилі Дніпра (від гирла Сирецької балки до Телички) та на схилах правих його приток на території міста (Лук'янівська, Совська, Глибочицька балки, долини р. Либідь, Нивка, Сирець та ін.) користуються зсуви. Зсувні процеси на території м. Києва найбільш активно проявляються в зоні, ширина якої сягає 10 км. Виділяється п'ять головних зсувних ділянок - Подільська, Центральна, Києво-Печерської Лаври, Залавська та Видубицька. На Подільській ділянці зафіксовано 39 зсувів, Центральній - 33, в районі Києво-Печерської Лаври - 9, на Залавській та Видубицькій - 12. На схилах балок та ярів в межах міста також встановлено майже 30 зсувів що знаходяться у різній ступені активізації. Зсуви на території м. Києва належать до категорії об'єктів найбільш небезпечних з точки зору стійкості в районах забудови.

Сформована база даних геологічного середовища в межах правобережного

Києва включала дані зі 362 свердловин і 512 геологічних елементів, глибиною відбору від поверхні до 60 м [60]. Фрагмент сформованої бази даних наведений в табл. 2.1, де всі геологічні елементи були поділені на групи супісків, суглинків і глин та розміщені за величиною показника текучості (від найменшого до найбільшого значення). Розглядалися наступні характеристики ґрунту: вологість природна  $W$ , вологість на межі розкошування  $W_p$ , число пластичності  $I_p$ , показник текучості  $I_L$ , коефіцієнт пористості  $e$ , кут внутрішнього тертя  $\phi$ , питоме зчеплення  $c$ , модуль деформації  $E$ .

**Таблиця 2.1 - Фрагмент бази даних геологічного середовища правобережного Києва**

Об'єкт	№ П'Е (інженерно-геологічного елементу)	Найменування ґрунту	Вологість природна $W$ , д.о.	Вологість на межі розкошування $W_p$ , д.о.	Число пластичності $I_p$ , д.о.	Показник текучості $I_L$ , д.о.	Коефіцієнт пористості, $e$ , д.о.	Щільність ґрунту $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Кут внутрішнього тертя $\phi$ , град.	Питоме зчеплення $c$ , кПа	Модуль деформації $E$ , МПа
проспект Перемоги, 67	10а	Супіски, тверді	0,096	0,108	0,04	<0	0,6	1,78	23	14	21
	10б	Супіски піщаністі, пластичні	0,161	0,134	0,05	0,54	0,63	1,86	22	11	18
	10в	Супіски піщаністі, текучі	0,189	0,115	0,03	>1	0,65	1,88	18	7	10
	11а	Суглинки, напівтверді	0,172	0,149	0,14	0,16	0,53	2,03	20	34	29
	11б	Суглинки легкі піщаністі, тугопластичні	0,177	0,14	0,11	0,34	0,56	1,99	17	25	21
	11в	Суглинки легкі піщаністі, м'якопластичні	0,196	0,134	0,1	0,62	0,59	1,98	16	18	17
	11г	Суглинки легкі піщаністі, текучопластичні	0,217	0,132	0,1	0,85	0,61	1,99	13	9	9
	12а	Глини, напівтверді	0,215	0,18	0,22	0,16	0,65	1,95	17	47	24
	21в	Піски пілуваті, щільні	0,183				0,49	2,06	33	5	45

Характеристика дослідних свердловин і локалізація ділянок представлені в табл. 2.2. Повний опис геологічного середовища Правобережного Києва (механічні властивості отриманих зразків ґрунтів) зведений у Додаток А.

**Таблиця 2.2 – Характеристика свердловин для відбору проб ґрунту**

п/п	Назва об'єкту	кількість та глибина свердловин
1	вулиця Деміївська, 14	14 свердловин, Н=9,0-40,0м
2	вулиця Ділова, 5	9 свердловин, Н=15,0-40,0м
3	вулиця Професора Підвисоцького, 4	21 свердловина, Н=30,0 м
4	вулиця Бульварно-Кудрявська, 11	5 свердловин, Н=30,0-35,0 м
5	вулиця Сурикова, 3	4 свердловини, Н=7,5-9,0 м
6	вулиця Василя Тютюнника, 5	5 свердловин, Н=10,0 м
7	вулиця Половецька, 4	5 свердловин, Н=25,0-38,0 м
8	Проспект Перемоги 67, офіс 10/2, проспект Перемоги, 67	18 свердловин, Н=5,0-30,0 м
9	вулиця Академіка Каблукова, 23	20 свердловин, Н=30,0-35,0 м
10	Делегатський провулок, 4	5 свердловин, Н=35,0-45,0 м
11	Салютна,26 (Файна Таун)	12 свердловин, Н=12,0-25,0 м
12	проспект Перемоги, 5	6 свердловин, Н=50 м
13	НСК "Олімпійський"	44 свердловини, Н=40 м
14	Сирецький колектор	5 свердловин, Н=8,0 м
15	Колектор Нивки	10 свердловин, Н=6,0-18,0 м
16	улиця Николая Амосова	11 свердловин, Н=60,0 м
17	вулиця Короленківська, 4	7 свердловин, Н=18,0-25,0м
18	вулиця Ясногірська, 16	1 свердловина, Н=12,0 м
19	улиця Лаврская	4 свердловини, Н=15,0-20,0 м
20	Героев Дніпра	6 свердловин, Н=30,0 м
21	вулиця Вавилових, 9	9 свердловин, Н=35,0-50,0 м
22	вулиця Володі Дубініна, 2	9 свердловин, Н=30,0-36,6 м
23	Петра Радченка, 27-29	12 свердловин, Н=40,0 м
24	Ломоносова, 33/43	6 свердловин, Н=20,0-60,0 м
25	вулиця Іоанна Павла II, 11	5 свердловин, Н=35,0-45,0 м
26	Коломийський провулок, 6	6 свердловин, Н=15,0 м
27	Перетин вул. Борщагівська та вул. В.Чорновола	16 свердловин, Н=30,0-44,0 м
28	вул. Жулянська ЖК "Абрикосовий"	15 свердловин, Н=30,0-40,0 м
29	вулиця Глибочицька, 43 ЖК "Mirax"	28 свердловин, Н=20,0-60,0 м
30	Надпірянське шосе, 2а ЖК "Світлопарк"	25 свердловин, Н=15,0-40,0 м
31	Московська, 8	14 свердловин, Н=33,0-43,0 м
32	Шевченка Т	2 свердловини, Н=10,0 м
33	Салютна,26 (Файна Таун) 2 чередь	3 свердловини, Н=30,0 м

Сформована база даних геологічного середовища Правобережного Києва дозволяє правильно обрати параметри морфологічних таблиць та альтернативи параметрів для ділянок підземного будівництва й наповнити їх об'єктивними значеннями, що значно підвищує якість морфологічної моделі. Крім того, поділ усіх даних на групи супісків, суглинків і глин та групування за величиною

показника текучості (від найменшого до найбільшого значення) відкриває можливості для подальшої оцінки впливу змінності геологічного середовища на стійкість підземних споруд.

## **2.2 Розробка морфологічних моделей та прогнозна оцінка сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики**

Використовуючи модифікований метод морфологічного аналізу (див. п. 1.3), спираючись на сформовану базу даних геологічного середовища (див. додаток А) можна вирішувати завдання планування об'єктів підземної урбаністики, зокрема оцінювання територій для розміщення геобудівельних об'єктів.

Задача оцінювання ділянки (масиву) геологічного середовища щодо придатності для підземного будівництва має ряд факторів, яким притаманна невизначеність. Така невизначеність пов'язана із декількома особливостями:

1) точне оцінювання всіх факторів впливу вимагає проведення великого обсягу інженерних або геологорозвідувальних робіт і детальних вимірювань, що потребує часу та ресурсів і не завжди є економічно доцільним на етапі первинного вибору ділянки для будівництва (тобто присутні невизначеність, неповнота, неточність попередніх даних, відсутність їх формалізації);

2) більшість ділянок будівництва є неоднорідними і, відповідно, мають характеристики, що змінюються у просторі, що відображує складність взаємодій між об'єктами в природничо-технічній системі «геологічне середовище – підземна урбаністика» [42, 48].

Тому для оцінювання залучаються експерти, які можуть приймати рішення, базуючись на досвіді, інтуїції і відносно невеликій кількості наявної інформації про ділянку. Метою проведеного дослідження було створення та тестування наукового інструментарію, що формалізує і супроводжує процес прийняття рішення щодо використання земельної ділянки, зменшує вірогідність помилки

через неврахування певних факторів або особливостей, надає інформацію для прийняття рішення у зручній формі таблиць, діаграм або графіків.

Для задачі оцінювання ділянок геобудівництва було обрано двоетапну процедуру МММА, тобто використовуються дві морфологічні таблиці МТ із причинним зв'язком між ними – перша МТ описує ділянку (масив) геологічного середовища, параметри, що пов'язані з ризиками підземного будівництва та їх альтернативи, друга МТ описує рішення щодо цієї земельної ділянки, зокрема ризики для забудови [58, 59].

Для зменшення кількості параметрів, що описують ділянку, деякі множини характеристик, які приблизно однаково впливають на результат, були агреговані в окремі параметри [59, 61]. Остаточний вигляд МТ наведено у табл. 2.3.

**Таблиця 2.3 – Морфологічна таблиця для ділянки будівництва**

Параметр	Альтернативи параметра
1. Рівень динамічного навантаження	1.1. Низький (46 – 53 дБ)
	1.2. Середній (53 – 73 дБ)
	1.3. Підвищений (73 – 96 дБ)
	1.4. Високий (більше 96 дБ)
2. Показник статичного навантаження від поверхневої забудови	2.1. Незначний ( $K_{сн} < 1$ )
	2.2. Помірний ( $1 < K_{сн} < 2$ )
	2.3. Відносно високий ( $2 < K_{сн} < 3,5$ )
	2.4. Високий ( $K_{сн} > 3,5$ )
3. Показник статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву	3.1. Незначний ( $K_{мас} < 0,05$ , МПа)
	3.2. Помірний ( $0,05 < K_{мас} < 0,3$ , МПа)
	3.3. Високий ( $0,3 < K_{мас} < 0,5$ , МПа)
	3.4. Вельми високий ( $K_{мас} > 0,5$ , МПа)
4. Вплив існуючих підземних об'єктів	4.1. Відсутній (відстань понад 50 м)
	4.2. Незначний (відстань 20 – 50 м)
	4.3 Впливовий (відстань 10 – 20 м)
	4.4 Загрозливий (відстань ближче 10 м)
5. Генетичний тип та літологічний склад ґрунтів	5.1. Невивітрілі глини та піски середньої щільності
	5.2. Техногенні відклади (намівні та насипні ущільнені різновиди)
	5.3. Делювіальні глинисті ґрунти (водонасичені), обводнені надзаплавні піски
	5.4. Просідні ґрунти, ґрунти з особливими властивостями (лес, торф, мул)
6. Розрахунковий опір ґрунту	6.1. Дуже міцні ґрунтові основи $> 300$ кПа
	6.2. Міцні 200-300 кПа
	6.3. Ґрунти середньої міцності 150-200 кПа

	6.4. Відносно міцні ґрунти <150 кПа
7. Вплив водоносних горизонтів і верховодки	7.1. Водоносні горизонти у Р-N <sub>1np</sub>
	7.2. Глибина залягання ґрунтових вод > 3 м, напірних > 10 м
	7.3. Глибина залягання ґрунтових вод < 3 м, напірних < 10 м
	7.4. Наявні підтоплені ділянки з РГВ до 1м
8. Тип рельєфу і морфометрія	8.1. Плaskі ділянки надзаплавних терас, моренно-льодовикові рівнини (нахил поверхні до 1 °)
	8.2. Слабко нахилені поверхні надзаплавних терас, ділянки вододілів (нахил поверхні 1-4 °, щільність розчленованості рельєфу 0-2 км/км <sup>2</sup> )
	8.3. Долини малих річок, слабко розчленовані схили, висока заплава (нахил поверхні 4-8 °, щільність розчленованості рельєфу 2-3 км/км <sup>2</sup> )
	8.4. Зсувонебезпечні ділянки схилів з активним розвитком ярів, провалів, низька заплава (нахил поверхні >8 °, щільність розчленованості рельєфу 3-4 км/км <sup>2</sup> )
9. Інженерно-геологічні процеси	9.1. Відсутні
	9.2. Процеси застабілізовані
	9.3. Прояв зсувних зміщень незначних об'ємів
	9.4. Активний прояв просідання, підтоплення, гравітаційних процесів
10. Геотехнології будівництва підземних споруд	10.1. Відкриті
	10.2. Підземні

Стисло розглянемо обрані параметри, мета яких з максимальною об'єктивністю відобразити вплив геологічного середовища і техногенних факторів на ризики підземного будівництва та експлуатації підземних споруд [63, 66]. Параметри 1–4 та 6 характеризують загрози стійкості (надійності) підземної споруди й відображають впливи на неї динамічного навантаження (автомобільні траси, залізниця, метрополітен, промислові підприємства тощо); статичного навантаження поверхневої забудови з урахуванням щільності (одиниця – до 25%) та висотності будівель (одиниця – до 3-х поверхів), навантаження від гірського тиску порід чи ґрунтів на оправу споруди з урахуванням показника текучості, геомеханічного збурення масиву близькістю інших підземних споруд та опір ґрунту навантаженням. Параметри 5, 7–9 – характеризують властивості та процеси геологічного середовища, які значною мірою впливають на вартість і швидкість спорудження виробок, умови безремонтної експлуатації підземних споруд та екологічної безпеки. При цьому не виключаються можливі взаємовпливи прийнятих факторів з геомеханіки та інженерної геології, проте

обидві групи факторів є конче необхідними для аналізу й будуть однаковим чином відноситися до всіх досліджуваних територій (ділянок будівництва). Прийняті діапазони факторів відповідають чотирьом альтернативам сприятливості геологічного середовища освоєнню підземного простору: вельми сприятливе, сприятливе, недостатньо сприятливе та несприятливе, що відповідає підходу, використаному раніше для районування територій [48].

В другу МТ увійшли параметри рішення, яке доцільно приймати для ділянки, що розглядається, з урахуванням ризиків забудови. Усього обрано 6 параметрів (табл. 2.4).

**Таблиця 2.4 – Морфологічна таблиця рішення щодо ділянки будівництва**

Загальна характеристика		
А. Придатність ділянки	В. Масштаб об'єкту	С. Глибина забудови
А.1. Придатна	В.1. Площа перерізу до 10 м <sup>2</sup>	С.1. 0–10 м
А.2. Непридатна	В.2. Площа перерізу до 35 м <sup>2</sup>	С.2. 10–20 м
	В.3. Площа перерізу до 70 м <sup>2</sup>	С.3. 20–50 м
	В.4. Площа перерізу до і більше 70 м <sup>2</sup>	С.4. глибше 50 м
Ризики для забудови		
Д. Фактор ризику	Е. Ступінь ризику	Ф. Рівень ризику
Д.1. Відмова конструкцій, порушення функціональності та безпеки підземних споруд	Е.1. <3%	Ф.1. 0,1–5% Q
Д.2. небезпечний вплив на поверхневі чи сусідні підземні об'єкти	Е.2. 3–10%	Ф.2. 5–20% Q
Д.3. Ініціація зсувних явищ	Е.3. 10–20%	Ф.3. 20–50%Q
Д.4. Підтоплення	Е.4. 20–50%	Ф.4. >50% Q
Д.5. Екологічні ризики	Е.5. >50%	
Д.6. Транспортні проблеми		
Д.7. Зростання вартості будівництва та експлуатації споруд		



До загальних характеристик віднесені параметри А, В, С. Параметр А (придатність ділянки) є інтегруючим, причому альтернатива А.1 (придатність ділянки) охоплює вельми сприятливе, сприятливе та недостатньо сприятливе геологічне середовище, а альтернатива А.2 (непридатність ділянки) – несприятливе середовище, пов’язане з високими значеннями факторів ризику (див. параметри D–F). Параметр В (масштаб об’єкту) характеризує типи підземних споруд, що проектуються, і відображує підземні об’єкти інженерної інфраструктури міста, між іншим – каналізаційні колектори (альтернатива В.1), транспортні комунікації (альтернатива В.2), багатофункціональні підземні споруди камерного типу (альтернатива В.3) та камери великих перерізів: підземні торговельні комплекси, спортивні об’єкти, електростанції, виробничі підприємства тощо (альтернатива В.4). Оскільки в різних геологічних середовищах ступінь сприятливості підземному будівництву значною мірою залежить від масштабу підземної споруди, то для прийняття рішення щодо вибору об’єкту будівництва важливо враховувати альтернативи В. Глибина забудови (параметр С) пов’язана з функціональним призначенням споруди та прийнятою геобудівельною технологією і впливає на формування навантаження на кріплення (оправу) від гірського тиску, статичних і динамічних впливів.

До ризиків підземного будівництва віднесені параметри D, E, F. Серед альтернатив факторів ризику виділені руйнування конструкцій і порушення функціональності та безпеки споруд (D.1), небезпечний вплив нових виробок на наземні та підземні об’єкти (D.2), ініціація зсувних явищ похилого рельєфу (D.3), підтоплення (D.4), екологічні ризики (D.5), транспортні проблеми (D.6), а також зростання вартості будівництва та експлуатації споруд (D.7). Ступінь ризику (параметр E) вказує на імовірність реалізації небажаних подій (D.1 – D.7), а рівень ризику (параметр F) оцінює економічні втрати від реалізації небажаних подій у відсотках від початкової вартості споруди Q.

Для оцінювання зв’язків між альтернативами фахівцю в предметній області були надані опитувальні форми для заповнення. Питання щодо пар альтернатив ставились у такій формі:

Чи є зв'язок між альтернативами <b>1.1. Низький (46 – 53 дБ)</b> і <b>3.1. Незначний (<math>K_{\text{мас}} &lt; 0,05</math>, МПа)</b>
Комбінація неможлива
Сильний негативний (комбінація малої ймовірності)
Помірний негативний (менше ймовірність поєднання)
Слабкий негативний (трохи менше ймовірність поєднання)
Немає зв'язку
Слабкий позитивний (трохи більше ймовірність поєднання)
Помірний позитивний (більше ймовірність поєднання)
Сильний позитивний (суттєво більше ймовірність поєднання)
Альтернативи повністю взаємозалежні

Експерту потрібно було обрати варіант відповіді у кожному питанні. Після заповнення опитувальних форм відповіді переводились у числову форму за табл. 2.5.

**Таблиця 2.5 – Шкала експертних оцінок взаємозв'язку**

Відповідь експерта щодо зв'язку	Числове значення
Комбінація неможлива	–1
Сильний негативний	–0,8
Помірний негативний	–0,5
Слабкий негативний	–0,2
Немає зв'язку	0
Слабкий позитивний	0,2
Помірний позитивний	0,5

Сильний позитивний	0,8
Альтернативи повністю взаємозалежні	1

Таким чином, була отримана матриця взаємозв'язків альтернатив параметрів. Фрагмент такої матриці, який показує взаємний вплив параметрів 1 і 3 наведено в табл. 2.6 Такі ж фрагменти присутні в матриці для всіх інших пар МТ.

**Таблиця 2.6 – Фрагмент матриці взаємозв'язків для параметрів 1 і 3**

		3. Показник статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву			
		3.1	3.2	3.3	3.4
1. Рівень динамічного	1.1	0,5	0,2	-0,2	-0,5
	1.2	0,2	0,5	0,5	0,2
	1.3	-0,2	0,2	0,5	0,5
	1.4	-0,2	0,2	0,8	0,8

Варто зазначити, що не всі параметри МТ прямо впливають один на одного. Питання щодо тих параметрів, між якими очевидно відсутній зв'язок, не ставилися для зменшення навантаження на експерта. Комбінації параметрів з табл. 2.3, взаємодія між якими розглядалася, наведено в табл. 2.7

**Таблиця 2.7 – Матриця залежності параметрів морфологічної таблиці ділянки будівництва («+» – пряма взаємодія присутня)**

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			+	+					+	
2			+			+	+		+	+
3	+	+		+	+	+	+	+	+	+
4	+		+				+		+	+
5			+			+	+	+	+	
6		+	+		+					

7		+	+	+	+				+	
8			+		+				+	+
9	+	+	+	+	+		+	+		
10		+	+	+				+		

Далі було оцінено вплив параметрів МТ першого етапу на параметри МТ другого етапу. Питання щодо впливу альтернатив МТ незалежних параметрів на альтернативи МТ залежних параметрів ставились фахівцю в предметній області у такій формі:

Чи впливає <b>1.1. Низький (46 – 53 дБ)</b> на вагу <b>A.1.</b> <b>Придатна</b>
Дуже сильно зменшує
Сильно зменшує
Помірно зменшує
Трохи зменшує
Не впливає
Трохи збільшує
Помірно збільшує
Сильно збільшує
Дуже сильно збільшує

За шкалою, аналогічною табл. 2.5, відповіді були переведені у числову форму і занесені в матрицю зв'язків, фрагмент якої представлено в табл. 2.8.

**Таблиця 2.8 – Фрагмент матриці зв'язків для параметра 1 МТ першого етапу і параметрів А–В МТ другого етапу**

	А. Придатність ділянки		В. Масштаб об'єкта				С. Глибина забудови			
	A.1	A.2	B.1	B.2	B.3	B.4	C.1	C.2	C.3	C.4

1. Рівень динамічного	1.1	0,5	-0,5	0	0	0	0	0,5	0,2	0	0
	1.2	0,2	-0,2	0,2	0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	0,2	0,2
	1.3	-0,2	0,2	0,2	0,2	-0,5	-0,8	-0,5	-0,5	0,5	0,5
	1.4	-0,8	0,8	0,2	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-0,5	0,5	0,8

За допомогою створеної моделі можна проводити оцінювання ділянок для підземного будівництва. Вхідними даними для такої задачі є експертна думка щодо ймовірностей альтернатив першої МТ (табл. 2.3), тобто характеристик ділянки будівництва. Процедура оцінювання складається з таких основних кроків:

- 1) отримання інформації від експерта за допомогою опитувальної форми;
- 2) переведення відповідей експерта у числову форму і розрахунок оцінок альтернатив першої МТ з урахуванням взаємозалежностей між ними;
- 3) розрахунок оцінок другої МТ на основі множини можливих конфігурацій першої МТ і матриці зв'язків.

На першому кроці експерту надається опитувальна форма щодо ділянки, яку потрібно оцінити. В цій опитувальній формі наводяться питання щодо вірогідності кожної альтернативи кожного параметра для ділянки, що досліджується. Питання можуть ставитись у такій формі:

*1. Вкажіть, наскільки розглядуваній ділянці відповідають характеристики щодо параметра «Рівень динамічного навантаження»*

*1.1. Чи вірне твердження, що для ділянки **Рівень динамічного навантаження – Низький (46 – 53 дБ)***

Однозначно ні	Переважаю ні	Скоріше ні, ніж так	І так, і ні в рівній мірі	Скоріше так, ніж ні	Переважаю так	Однозначно так
------------------	-----------------	------------------------	------------------------------	------------------------	------------------	-------------------

*1.2. Чи вірне твердження, що для ділянки **Рівень динамічного навантаження – Середній (53 – 73 дБ)***

Однозначно ні	Переважаю ні	Скоріше ні, ніж так	І так, і ні в рівній мірі	Скоріше так, ніж ні	Переважаю так	Однозначно так
------------------	-----------------	------------------------	------------------------------	------------------------	------------------	-------------------

*1.3. Чи вірне твердження, що для ділянки **Рівень динамічного навантаження – Підвищений (73 – 96 дБ)***

Однозначно ні	Переважаю ні	Скоріше ні, ніж так	І так, і ні в рівній мірі	Скоріше так, ніж ні	Переважаю так	Однозначно так
------------------	-----------------	------------------------	------------------------------	------------------------	------------------	-------------------

**1.4. Чи вірне твердження, що для ділянки *Рівень динамічного навантаження* – *Високий (більше 96 дБ)***

Однозначно ні	Переважаю ні	Скоріше ні, ніж так	І так, і ні в рівній мірі	Скоріше так, ніж ні	Переважаю так	Однозначно так
------------------	-----------------	------------------------	------------------------------	------------------------	------------------	-------------------

Експерт обирає відповіді, які, на його думку, найбільш точно характеризують ймовірність появи відповідної альтернативи для розглядуваної ділянки. Якщо інформація щодо відповідного параметра ділянки достеменно відома, експерт може обрати відповідь «Однозначно так» для однієї з альтернатив і «Однозначно ні» для всіх інших. Кількість питань у опитувальній формі відповідає загальній кількості альтернатив першої МТ, в даному дослідженні анкета для ділянки складалась із 38 питань.

Оцінки експерта переводяться у числову форму за шкалою з табл. 2.9, після чого нормуються.

**Таблиця 2.9 – Шкала експертних оцінок альтернатив параметрів ділянки будівництва**

Відповідь експерта щодо твердження	Числове значення
Однозначно ні	0
Переважаю ні	0,2
Скоріше ні, ніж так	0,35
І так, і ні в рівній мірі	0,5
Скоріше так, ніж ні	0,65
Переважаю так	0,8
Однозначно так	1

Позначимо параметри першої МТ (табл. 2.3) як  $F_i, i \in [1, N]$ , де  $N$  – кількість параметрів (в даному дослідженні  $N = 10$ ). Альтернативи параметра  $F_i$  позначимо

як  $a_j^{(i)}, i \in [1, N], j \in [1, n_i]$ , де  $n_i$  — кількість альтернатив параметра  $F_i$ . Нормовані експертні оцінки альтернатив параметрів позначимо як  $p_j^{(i)}$ .

Слід зазначити, що відповіді експерта не враховують взаємозв'язок між альтернативами, тому оцінки альтернатив перераховуються з використанням матриці взаємозв'язків, описаної раніше. Розрахунки засновані на рішенні системи рівнянь для ймовірностей. При цьому значення умовної ймовірності апроксимуються на основі значень попередньої (незалежної) ймовірності та значень матриць взаємозв'язків, із додержанням низки правил [62].

$$P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)}) = \frac{P'(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)})}{\sum_{k_2=1}^{n_2} \sum_{k_3=1}^{n_3} \dots \sum_{k_N=1}^{n_N} P'(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{k_2}^{(2)}, \dots, a_{k_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)})}, \quad (2.1)$$

де

$$P'(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{j_1}^{(1)}) = \prod_{m=2}^N p_{j_m}^{(m)} \cdot \prod_{m=1}^{N-1} \prod_{l=m+1}^N c_{mj_m, lj_l}.$$

Система рівнянь для ймовірностей має вигляд:

$$\begin{cases} \vec{x}_1 = P_1 \vec{x}_2; \|\vec{x}_1\| = 1; \\ \vec{x}_2 = P_2 \vec{x}_3; \|\vec{x}_2\| = 1; \\ \dots \\ \vec{x}_{N-1} = P_{N-1} \vec{x}_N; \|\vec{x}_{N-1}\| = 1; \\ \vec{x}_N = P_N \vec{x}_1; \|\vec{x}_N\| = 1. \end{cases} \quad (2.2)$$

Елементами матриць коефіцієнтів  $P_i$  є суми умовних ймовірностей конфігурацій (2.1), що відповідають змінним. Наприклад,

$$P_1 = \begin{pmatrix} \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_1^{(1)}, a_1^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_1^{(2)}) & \dots & \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_1^{(1)}, a_{n_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{n_2}^{(2)}) \\ \dots & \dots & \dots \\ \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{n_1}^{(1)}, a_1^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_1^{(2)}) & \dots & \sum_{j_3=1}^{n_3} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} P(\{a_{n_1}^{(1)}, a_{n_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\} | a_{n_2}^{(2)}) \end{pmatrix}.$$

Для спрощення запису матриць коефіцієнтів  $P_i$  введемо наступні позначення. Хай  $C$  — багатомірна матриця розмірності  $N$ , елементами якої є множення значень матриці конфігурацій, що відповідає усім можливим парам альтернатив з цієї конфігурації:

$$C_{j_1 j_2 \dots j_N} = \prod_{m=1}^{N-1} \prod_{l=m+1}^N c_{mj_m \cdot j_l}.$$

Введемо також позначення  $C_{i_1 | i_2}$ , де  $i_1, i_2 \in [1; N]$  – номери параметрів, для матриці  $C$ , помноженої за відповідним виміром на вектори незалежних ймовірностей усіх інших параметрів  $p_i, i \neq i_1, i \neq i_2$ . Оскільки кожне таке множення зменшує розмірність матриці, результуюча матриця  $C_{i_1 | i_2}$  є звичайною двовірною матрицею. Тоді, з урахуванням (2.1), матриці  $P_i$  запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} P_i &= \text{diag}(\bar{p}_i) \cdot C_{i|i+1} \cdot \text{diag}(C_{i|i+1}^T \cdot \bar{p}_i)^{-1}, i \in [1; N-1]; \\ P_N &= \text{diag}(\bar{p}_N) \cdot C_{N|1} \cdot \text{diag}(C_{N|1}^T \cdot \bar{p}_N)^{-1}. \end{aligned}$$

Рішенням системи (2.2) є:

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= \text{diag}(C_{i|k} \cdot \bar{p}_k) \cdot \text{diag}(\bar{p}_i) \cdot \bar{1} = \text{diag}(C_{i|k} \cdot \bar{p}_k) \cdot \bar{p}_i, \\ i &\in [1; N], k \in [1; N], k \neq i \end{aligned}$$

Враховуючи спосіб побудови  $C_{i_1 | i_2}$ , рішення системи (2.2) можна записати у вигляді (1.3)

$$p_{j_k}^{(i_k)} = \frac{p_{j_k}'^{(i_k)} \sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_{k-1}=1}^{n_{k-1}} \sum_{j_{k+1}=1}^{n_{k+1}} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N} p_{j_1}'^{(i_1)} \dots p_{j_N}'^{(i_N)}}{\sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N} p_{j_1}'^{(i_1)} \dots p_{j_N}'^{(i_N)}}. \quad (1.3)$$

Враховуючи (2.1) і (2.3), також знаходимо ймовірність будь якої конфігурації:

$$P(\{a_{j_1}^{(1)}, a_{j_2}^{(2)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \frac{C_{j_1 j_2 \dots j_N} p_{j_1}'^{(i_1)} \dots p_{j_N}'^{(i_N)}}{\sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N} p_{j_1}'^{(i_1)} \dots p_{j_N}'^{(i_N)}}. \quad (2.4)$$

Наступним кроком є визначення оцінок альтернатив другої МТ (табл. 2.4), тобто очікуваних результативностей варіантів рішення відносно розглянутої ділянки будівництва. Для оцінювання альтернатив залежної морфологічної таблиці спершу визначали умовну оцінку альтернативи при кожній конкретній конфігурації незалежної морфологічної таблиці. В даному дослідженні вважали, що альтернативи другої МТ без інформації про ділянку є однаково значимими, тому для розрахунку умовної результативності використано співвідношення (2.5):



$$R(a_1^{(d)} | \{a_{j_1}^{(1)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) = \frac{\prod_{i=1}^N c_{ij_i, d1}}{\sum_{k=1}^{n_d} \left( \prod_{i=1}^N c_{ij_i, dk} \right)}. \quad (2.5)$$

Тут  $d$  – позначення параметра другої МТ. Оцінку  $R(a_1^{(d)})$  альтернативи  $a_1^{(d)}$  з урахуванням можливості появи довільної конфігурації незалежної морфологічної таблиці визначимо таким чином:

$$R(a_1^{(d)}) = \sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} R(a_1^{(d)} | \{a_{j_1}^{(1)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}) P(\{a_{j_1}^{(1)}, \dots, a_{j_N}^{(N)}\}). \quad (2.6)$$

Якщо позначити  $C_{j_1 j_2 \dots j_N}^{(d_k)} = \prod_{i=1}^N c_{ij_i, dk}$ , то, враховуючи (2.4–2.6), оцінку деякої альтернативи  $a_1^{(d)}$  другої МТ легко знайти у вигляді:

$$R(a_1^{(d)}) = \frac{C_{j_1 j_2 \dots j_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N}^{(d_1)} p_{j_1}^{(i_1)} \dots p_{j_N}^{(i_N)}}{\sum_{j_1=1}^{n_1} \dots \sum_{j_N=1}^{n_N} \sum_{k=1}^{n_d} C_{j_1 j_2 \dots j_N} C_{j_1 j_2 \dots j_N}^{(d_k)} p_{j_1}^{(i_1)} \dots p_{j_N}^{(i_N)}}.$$

Оцінки  $R(a_1^{(d)})$  показують частку результативності, або вагу альтернативи  $a_1^{(d)}$  параметра  $F_d$ , тобто порівнюючи оцінки  $a_1^{(d)}, \dots, a_{n_d}^{(d)}$ , можна визначити, які з альтернатив параметрів табл. 2.4 в більшому ступеню характеризують ділянку, та які між цими альтернативами співвідношення. Ця інформація є надзвичайно корисною для осіб, що приймають рішення, оскільки дає об'єктивне уявлення про ділянку, враховуючи всі найбільш вагомі фактори впливу.

Для імплементації вказаних процедур використовувалось програмне забезпечення SAS Studio, для якого були написані користувацькі модулі мовою С# у середовищі Microsoft Visual Studio 2017. Модулі відповідають окремим крокам МММА: побудова морфологічної таблиці; оцінювання морфологічної таблиці; оцінювання матриці взаємозв'язків; розрахунок ваг альтернатив параметрів для одноетапної та двохетапної процедур морфологічного аналізу. Така система дозволяє конструювати морфологічні дослідження для достатньо

складних задач, включаючи розглянуту в цій роботі. Загальний вигляд взаємодії між модулями МММА для задачі оцінювання території для підземного будівництва наведено на рис. 2.2.

Для користування моделлю достатньо ввести вхідні дані, отримані на основі опитувальних форм, по ділянці території, як показано на рис. 2.3. Подальша процедура МММА виконується автоматично, надаючи необхідні результати по обох етапах методу.

Для перевірки функціонування розробленої моделі було взято дві ділянки в м. Києві з різними характеристиками для будівництва підземних паркінгів де аналізувалися фактори геологічного середовища та техногенних впливів [61].

Перший будівельний майданчик розміщений у Шевченківському районі на проспекті Перемоги. В геоморфологічному відношенні майданчик вишукувань розташований в межах двох геоморфологічних елементів – першої надзапальної тераси р. Либідь і схилу її долини. В геологічній будові обстеженого майданчика на розвідану глибину 50,0 м приймають участь алювіальні та флювіогляціальні відклади представлені супіском мулуватим, пісками, торфом, суглинками слабо- та середньо заторфованими, які залягають на корінних породах київської світи палеогену, представлені суглинками

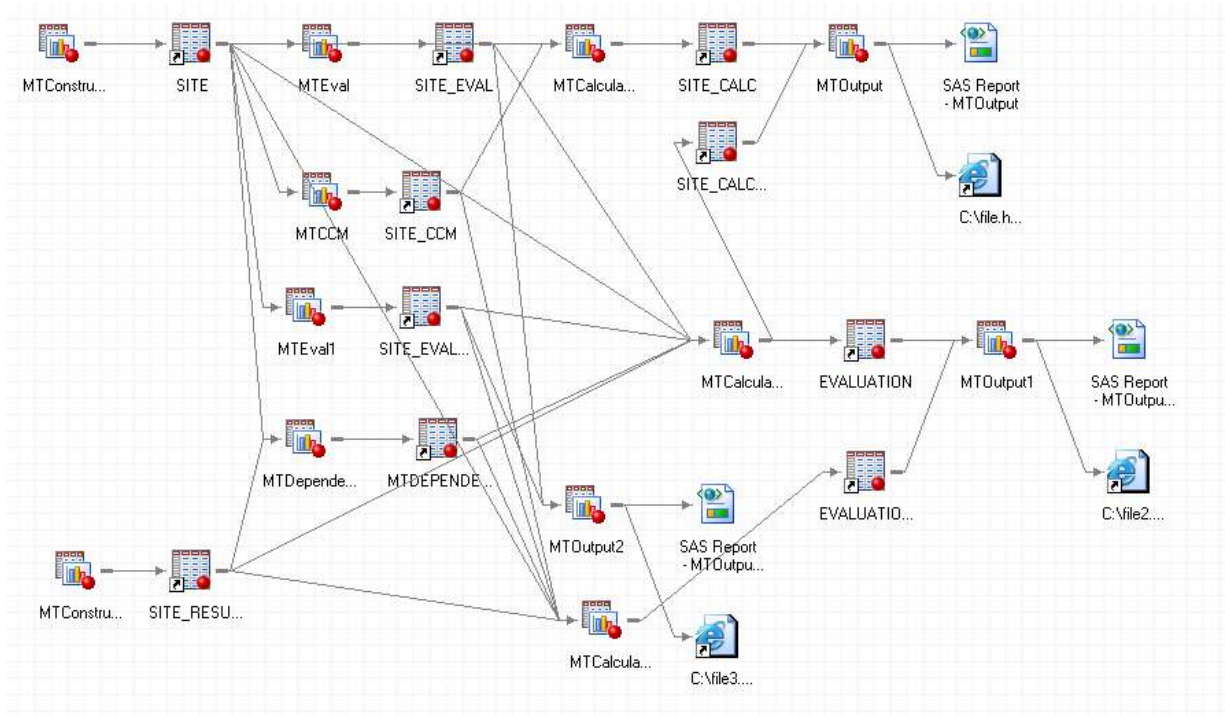


Рисунок 2.2 – Модель в SAS Studio для оцінювання території для підземного будівництва

**Morphological table evaluation**

Parameters

- 1 Dynamic load
- 2 Static load - buildings
- 3 Static load - soil
- 4 Existing objects
- 5 Soil type
- 6 Soil strength
- 7 Water
- 8 Landscape
- 9 Geoprocess
- 10 Construction type

Alternatives for parameter '1 Dynamic load'

Alternative	Value
1.1 Low	0
1.2 Average	0.35
1.3 High	0.65
1.4 Very high	0.8

Enter a value manually or choose:

Output table name: SITE\_EVAL

Output table label: Construction site, evaluated

OK Cancel

Very low  
Low  
Lower than average  
Average  
Higher than average  
Very high

Рисунок 2.3 – Введення вхідних даних моделі

(наглинками) мергельними та глинами мергельними. В свою чергу ґрунти кийівської світи залягають на супісках та пісках бучакської світи палеогену. З поверхні алювіальні та палеогенові відклади перекриті насипними ґрунтами. Досліджені характеристики ґрунтів, отримані з 11 свердловин, були використані експертами для побудови морфологічних таблиць.

Другий будівельний майданчик розміщений також у Шевченківському районі між вулицями Бульварно-Кудрявська та Гончара. Досліджувана територія знаходиться на лівому схилі до долини р. Либідь. Поверхня первинного рельєфу значно підвищена насипними ґрунтами до відміток вул. Бульварно-Кудрявська у цій частині, причому насип відгороджує підпірна стіна з бутового каміння. В геологічній будові майданчика до розвіданої глибини 36,0 м приймають участь: з поверхні території – сучасні насипні та голоценові делювіальні відклади, під якими розташовуються, голоценові та верхньоплейстоценові делювіально-зсувні відклади, що подекуди, покривають делювіальні ґрунти раннього плейстоцену. Під досить значною товщею делювіальних та насипних ґрунтів, знаходиться подекуди розмита товща полтавської серії нижнього неогену. Схил, що досліджувався, складений насипними ґрунтами з поганими фільтраційними властивостями, завдяки цьому, існує вірогідність утворення окремих лінз води у піщаних прошарках насипу, або навіть утворення «верховодки» у верхніх шарах розрізу при порушенні режиму природного дренажу даного схилу. Досліджені характеристики ґрунтів і техногенних впливів були використані для побудови морфологічних таблиць.

Вхідні дані від експерта і розраховані з урахуванням взаємозв'язків значення для першої МТ наведені в табл. 2.10 [61]. Нормована експертна оцінка (імовірність) альтернативи  $a_j^{(i)}$  вказана у стовпчику, позначеному  $p_j^{(i)}$ ; оцінка, розрахована після врахування матриці взаємозв'язків – у стовпчику, позначеному  $p_j^{(i)}$ . Різниця в оцінках показує, наскільки значення інших параметрів вплинули на вірогідність вибору відповідної альтернативи.

**Таблиця 2.10 – Вхідні дані і розраховані оцінки альтернатив параметрів першої МТ**

Параметр	Альтернатива	Оцінки			
		Ділянка 1		Ділянка 2	
		$p_j^{(i)}$	$p_j^{(i)}$	$p_j^{(i)}$	$p_j^{(i)}$
1. Рівень динамічного навантаження	1.1. Низький (46 – 53 дБ)	0,000	0,000	0,593	0,707
	1.2. Середній (53 – 73 дБ)	0,194	0,388	0,259	0,263
	1.3. Підвищений (73 – 96 дБ)	0,361	0,286	0,148	0,029
	1.4. Високий (більше 96 дБ)	0,444	0,326	0,000	0,000
2. Показник статичного навантаження від поверхневої забудови	2.1. Незначний ( $K_{сн} < 1$ )	0,000	0,000	0,000	0,000
	2.2. Помірний ( $1 < K_{сн} < 2$ )	0,000	0,000	1,000	1,000
	2.3. Відносно високий ( $2 < K_{сн} < 3,5$ )	0,000	0,000	0,000	0,000
	2.4. Високий ( $K_{сн} > 3,5$ )	1,000	1,000	0,000	0,000
3. Показник статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву	3.1. Незначний ( $K_{мас} < 0,05$ , МПа)	0,351	0,030	0,432	0,324
	3.2. Помірний ( $0,05 < K_{мас} < 0,3$ , МПа)	0,351	0,717	0,351	0,639
	3.3. Високий ( $0,3 < K_{мас} < 0,5$ , МПа)	0,189	0,189	0,108	0,025
	3.4. Вельми високий ( $K_{мас} > 0,5$ , МПа)	0,108	0,063	0,108	0,012
4. Вплив існуючих підземних об'єктів	4.1. Відсутній (відстань понад 50 м)	0,000	0,000	0,800	0,714
	4.2. Незначний (відстань 20 – 50 м)	0,800	0,479	0,200	0,286
	4.3. Впливовий (відстань 10 – 20 м)	0,200	0,521	0,000	0,000
	4.4. Загрозливий (відстань ближче 10 м)	0,000	0,000	0,000	0,000
5. Генетичний тип та літологічний склад ґрунтів	5.1. Невивітрілі глини та піски середньої щільності	0,108	0,107	0,108	0,170
	5.2. Техногенні відклади (намівні та насипні ущільнені різновиди)	0,351	0,372	0,351	0,450
	5.3. Делювіальні глинисті ґрунти (водонасичені), обводнені надзаплавні піски	0,432	0,434	0,432	0,342
	5.4. Просідні ґрунти, ґрунти з особливими властивостями (лес, торф, мул)	0,108	0,087	0,108	0,038
6. Розрахунковий опір ґрунту	6.1. Дуже міцні ґрунтові основи $> 300$ кПа	0,000	0,000	0,000	0,000
	6.2. Міцні 200-300 кПа	0,000	0,000	0,333	0,209
	6.3. Ґрунти середньої міцності 150-200	0,200	0,352	0,533	0,670

	кПа				
	6.4. Відносно міцні ґрунти <150 кПа	0,800	0,648	0,133	0,120
7. Вплив водонасних горизонтів і верховодки	7.1. Водонасні горизонти у Р-N <sub>лнр</sub>	0,000	0,000	0,143	0,098
	7.2. Глибина залягання ґрунтових вод > 3 м, напірних > 10 м	0,121	0,384	0,571	0,672
	7.3. Глибина залягання ґрунтових вод < 3 м, напірних < 10 м	0,485	0,552	0,143	0,126
	7.4. Наявні підтоплені ділянки з РГВ до 1м	0,394	0,065	0,143	0,104
8. Тип рельєфу і морфометрія	8.1. Плaskі ділянки надзаплавних терас, моренно-льодовикові рівнини	0,571	0,476	0,000	0,000
	8.2. Слабко нахилені поверхні надзаплавних терас, ділянки вододілів	0,143	0,177	0,121	0,382
	8.3. Долини малих річок, слабко розчленовані схили, висока заплава	0,143	0,275	0,394	0,476
	8.4. Зсувонебезпечні ділянки схилів з активним розвитком ярів, провалів, низька заплава	0,143	0,072	0,485	0,142
9. Інженерно-геологічні процеси	9.1. Відсутні	0,118	0,018	0,000	0,000
	9.2. Процеси застабілізовані	0,382	0,346	0,256	0,507
	9.3. Прояв зсувних зміщень незначних об'ємів	0,382	0,559	0,410	0,467
	9.4. Активний прояв просідання, підтоплення, гравітаційних процесів	0,118	0,077	0,333	0,025
10. Геотехнології будівництва підземних споруд	10.1. Відкриті	0,350	0,281	0,448	0,634
	10.2. Підземні	0,650	0,719	0,552	0,366

Розраховані ваги альтернатив параметрів другої МТ для обох ділянок наведені у табл. 2.11.

**Таблиця 2.11 – Ваги альтернатив параметрів другої МТ**

Параметр	Альтернатива	Оцінка	
		Ділянка 1	Ділянка 2
А. Придатність ділянки	А.1. Придатна	0,688	0,993
	А.2. Непридатна	0,312	0,007
В. Масштаб об'єкта	В.1. Площа перерізу до 10 м <sup>2</sup>	0,722	0,454
	В.2. Площа перерізу до 35 м <sup>2</sup>	0,241	0,303
	В.3. Площа перерізу до 70 м <sup>2</sup>	0,033	0,201
	В.4. Площа перерізу до і більше 70 м <sup>2</sup>	0,005	0,041

С. Рівень забудови	С.1. 0–10 м	0,053	0,261
	С.2. 10–20 м	0,143	0,307
	С.3. 20–50 м	0,439	0,309
	С.4. глибше 50 м	0,365	0,123
D. Фактор ризику	D.1. Відмова конструкцій, порушення функціональності	0,047	0,002
	D.2. небезпечний вплив на поверхневі чи сусідні підземні об'єкти	0,049	0,006
	D.3. Ініціація зсувних явищ	0,241	0,324
	D.4. Підтоплення	0,154	0,214
	D.5. Екологічні ризики	0,185	0,300
	D.6. Транспортні проблеми	0,122	0,081
	D.7. Зростання вартості будівництва та експлуатації споруд	0,202	0,073
Е. Ступінь ризик	Е.1. <3%	0,028	0,304
	Е.2. 3–10%	0,502	0,625
	Е.3. 10–20%	0,382	0,068
	Е.4. 20–50%	0,072	0,003
	Е.5. >50%	0,017	0,000
F. Рівень ризику	F.1. 0,1–5% Q	0,037	0,562
	F.2. 5–20% Q	0,789	0,422
	F.3. 20–50%Q	0,153	0,015
	F.4. >50% Q	0,020	0,000

Результати можуть бути представлені у більш наглядній формі діаграм або графіків (рис. 2.4, 2.5) [61].

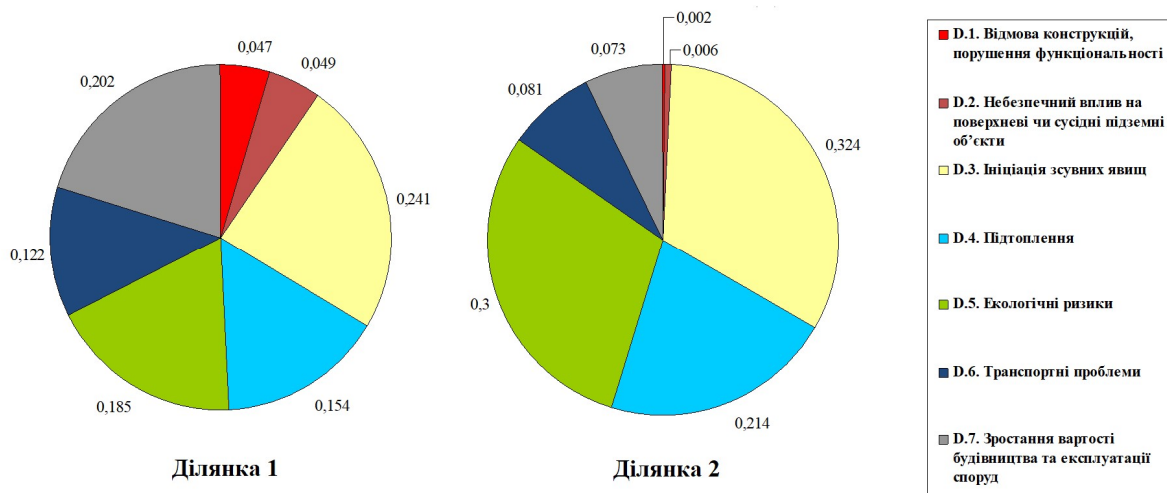


Рисунок 2.4 – Кругова діаграма для параметра «D. Фактор ризику» першої та другої ділянок

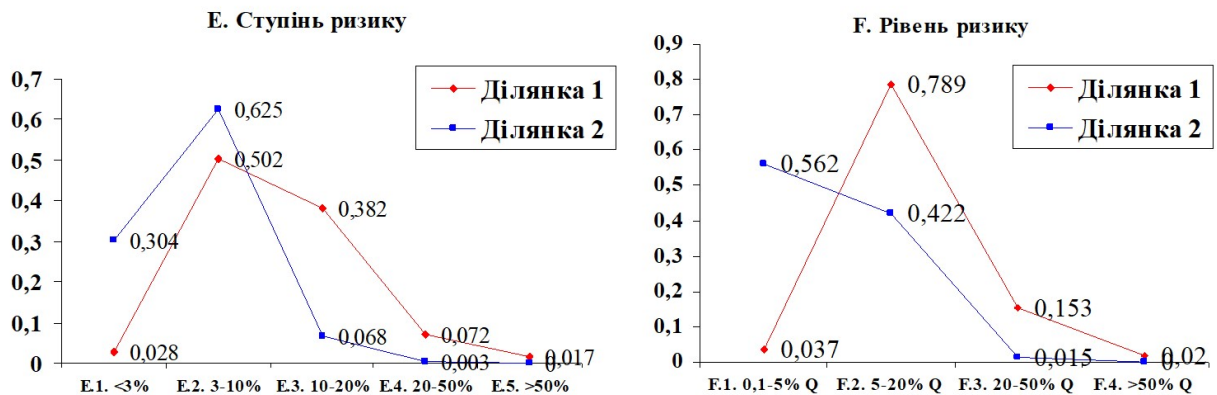


Рисунок 2.5 – Порівняння ваг альтернатив параметрів «Е. Ступінь ризику», «Ф. Рівень ризику» для обох ділянок

На кругових діаграмах (рис. 2.4) наглядно представлено, реалізація яких факторів ризику є найбільш імовірною для розглянутих ділянок геобудівництва. Так, для обох випадків найбільшу небезпеку являє ініціація зсувних явищ (відповідно 0,241 і 0,324), що зумовлено впливом річки Либідь і характерним для зсувів рельєфом ділянки 2. Фактор зростання вартості будівництва та експлуатації для ділянки 1 має друге за величиною значення (0,202), що характеризує в цьому випадку більш складну геомеханічну ситуацію, ніж на ділянці 2, де більш значимі



екологічні ризики (дорівнюють 0,3). Для обох ділянок суттєвими є також ризики підтоплення території (відповідно 0,154 і 0,214), інші фактори менш значимі.

Визначальними для оцінки ризиків є параметри Е. та F. (ступінь і рівень ризику). Графіки порівняння ваг параметру ступінь ризику (рис. 2.5-а) свідчать, що для обох ділянок найбільша імовірність реалізації несприятливих сценаріїв знаходиться в межах 3–10% (відповідно 0,502 і 0,625), причому імовірність відносно високих ризиків (20–50%) для першої ділянки не перебільшує 0,072, а для другої майже дорівнює нулю, що свідчить про загалом сприятливі умови для обох ділянок геобудівництва. Для оцінки економічних втрат у випадку реалізації несприятливих сценаріїв (хоча їх імовірність достатньо мала) варто скористатися графіками рівня ризику (рис. 2.5-б). З найбільшою імовірністю можна очікувати вартість економічних ризиків у діапазоні 5–20% від витрат на будівництво підземної споруди (тобто, менше середнього рівня оціночної шкали). Таким чином обидві ділянки належать до альтернативи придатних для підземного будівництва, про що свідчать і абсолютні показники табл. 2.11 (відповідно 0,688 і 0,993), проте вибір ділянки 2 виглядає більш переконливим при порівнянні абсолютних показників.

### **2.3 Модифікований морфологічний аналіз геологічного середовища та факторів структурно-функціонального характеру при плануванні підземних паркінгів**

Серед великого розмаїття об'єктів міської підземної інфраструктури особливе значення набувають підземні паркінги, оскільки проблема автостоянок у центральній (діловій) частині мегаполісів, а також на їх периферії, де мешканці прилеглих міст і поселень у значній масі переходять на міській транспорт (здебільшого – метрополітен) – стоїть надзвичайно гостро. Для ліквідації заторів і збільшення середньої швидкості руху у великих містах важливим фактором є рівень захищеності транспортних шляхів, які часто використовують для тимчасової стоянки автомобілів. З погляду на це роль підземних паркінгів ще

більше зростає. Слід зазначити, що знайти під паркінги вільні ділянки на денній поверхні у середмісті мегаполісів майже неможливо, оскільки колишнє планування міст не передбачало сучасної кількості автомобілів, а будь-які «вільні» ділянки були зайняті забудовниками для зведення житлових будинків, офісних чи торгівельних центрів. Саме тому рішення проблеми парковки автомобільного транспорту в середмісті й на кінцевих станціях метрополітену має лише одну серйозну перспективу – будівництво підземних паркінгів [63-65]. Серед прикладів системного підходу до вирішення проблеми зазначимо майже одночасне будівництво 41 підземного паркінгу в Парижі, причому Науково-координаційна рада з підземної урбаністики під керівництвом славнозвісного організатора розвитку підземної урбаністики Е. Утьоджана попередньо провела складні дискусії, щодо місця розташування цих підземних об'єктів [3].

Вибір ділянки для будівництва підземного паркінга може бути здійснений з використанням методу модифікованого морфологічного аналізу. В п. 2.2 були розглянуті альтернативні ділянки для будівництва паркінгів з позицій сприятливості геологічного середовища. Це важливий чинник, який значною мірою визначає вартість і ризики будівництва споруди. Проте задача розміщення паркінгу є більш складною, оскільки поєднує оцінювання як впливів геологічного середовища, так і структурно-функціональних факторів, які будуть визначати затребуваність паркінга та комерційну привабливість інвестицій. Для створення моделі щодо оцінювання ділянок будівництва підземних паркінгів була побудована мережа морфологічних таблиць (рис. 2.6), у яких провідну роль мали результати морфологічного аналізу щодо геологічного середовища [66].



Рисунок 2.6 – Мережа морфологічних таблиць

Параметри морфологічного аналізу були рознесені в чотири окремих таблиці. Перша таблиця «I. Характеристика ділянки» (табл. 2.12) містить параметри, що описують ділянку – типи урбаністичних об’єктів, що знаходяться поблизу, приблизні кількості мешканців і робочих місць тощо. Зазначимо, що для задачі було вирішено розглядати радіус 300 м як прийнятний компроміс щодо максимальної відстані, яку людина згодна пройти від припаркованої машини.

Для таблиці було вирішено не вводити матрицю взаємозв’язків, оскільки більшість параметрів є незалежними між собою. Тому безпосередня оцінка відповідних альтернатив повинна в значній мірі відповідати дійсності і не потребувати окремого перерахунку.

**Таблиця 2.12 – Морфологічна таблиця «I. Характеристика ділянки»**

I. Характеристика ділянки (в радіусі 300 м)					
1. Урбаністичні об’єкти	2. Кількість мешканців	3. Кількість робочих місць	4. Швидкість руху автотранспорту	5. Існуючі паркомісця (наземні та підземні)	6. Доступність буд. територій
Житлова забудова	До 1000	До 500	Висока (більше 60 км/год)	До 50 п/м	Без ускладнень
Офісні та адміністративні	1000–3000	500–1000	Середня (30-60 км/год)	50–200 п/м	Невеликі ускладнення

будівлі					
Торгівельні та розважальні центри	3000–6000	1000–3000	Низька (15-30 км/год)	200–400 п/м	Суттєві ускладнення
Стадіони, концертні зали, театри	6000–10000	3000–5000	Дуже низька (менше 15 км/год)	Більше 400 п/м	
Середні та вищі навчальні заклади	Більше 10000	Більше 5000			
Архітектурні пам'ятки й туристичні об'єкти					
Промислові підприємства					

Наступна таблиця «II. Результати аналізу ділянки» (табл. 2.13) містить параметри, які описують потребу в організації паркінгу – приблизну кількість необхідних паркомісць, а також тип потреби в них:

- постійна – якщо потреба в паркомісцях залишається незмінною в різний час;
- маятникова – якщо потреба в паркомісцях залежить від часу доби (наприклад, для офісних центрів або ТРЦ);
- пікова – якщо може існувати потреба прийняти разові навантаження припаркованих автомобілів (наприклад, для стадіонів, концертних залів і т.п.).

**Таблиця 2.13 – Морфологічна таблиця «II. Результати аналізу ділянки»**

II. Результати аналізу ділянки	
7. Необхідність у паркомісцях	8. Тип потреби у паркомісцях
До 50 п/м	Постійна

50–200 п/м	Маятникова
200–400 п/м	Пікова
Більше 400 п/м	

Ця таблиця пов'язана матрицею зв'язків із попередньою таблицею, а її оцінки визначаються на основі розрахунку, що використовує цю матрицю і оцінки попередньої таблиці.

Таблиця «ІІІ. Результати морфологічного аналізу щодо геологічного середовища» містить параметри, взяті з оцінювання геологічного середовища, описаного в п. 2.2. З таблиці результатів оцінювання (табл. 2.11) взяті тільки ті, які безпосередньо впливають на рішення щодо будівництва паркінгу: параметри «А. Придатність ділянки», «В. Масштаб об'єкта», «С. Глибина забудови», які отримали номери відповідно 9–11. Вхідними даними для цієї таблиці є результати проведеного аналізу геологічного середовища.

Таблиця «ІV. Рішення щодо ділянки» (табл. 2.14) містить параметри, які описують рішення, яке доцільно прийняти щодо розглядуваної ділянки – ваги придатності або непридатності ділянки для будівництва паркінгу, і найбільш доцільний розмір паркінгу, враховуючи як потребу у паркомісцях, так і оцінені параметри геологічного середовища.

**Таблиця 2.14 – Морфологічна таблиця «ІІ. Результати аналізу ділянки»**

IV. Рішення щодо ділянки	
А. Доцільність будівництва паркінгу	В. Доцільний розмір паркінгу
Будівництво доцільне	До 50 п/м
Будівництво недоцільне	50–200 п/м
	200–400 п/м
	Більше 400 п/м

Таблиця IV пов'язана матрицею зв'язків із всіма попередніми таблицями. Матриці зв'язків заповнені на основі експертного опитування, як описано в п. 2.2. Таким чином отримана модель для оцінювання доцільності будівництва паркінгу, в якій мережа морфологічних таблиць поєднує першочергову таблицю результатів

морфологічного аналізу геологічного середовища з наступними підпорядкованими таблицями структурно-функціонального характеру..

Для тестування розробленої моделі були взяті ті ж дві ділянки в середмісті Києва, що і в п. 2.2:

- ділянка 1 – у Шевченківському районі на Проспекті Перемоги;
- ділянка 2 – у Шевченківському районі між вулицями Бульварно-Кудрявська та Гончара.

Оцінювання ділянок здійснювалось шляхом експертного опитування, і в результаті отримані такі вхідні дані (табл. 2.15):

**Таблиця 2.15 – Вхідні дані щодо характеристик ділянок**

Параметр	Альтернатива	Ненормовані значення		Нормовані значення	
		Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 1	Ділянка 2
1	Житлова забудова	0,8	0,8	0,242	0,184
	Офісні та адміністративні будівлі	0,8	0,8	0,242	0,184
	Торгівельні та розважальні центри	0,65	0,8	0,197	0,184
	Стадіони, концертні зали, театри	0,65	0,65	0,197	0,149
	Середні та вищі навчальні заклади	0,2	0,65	0,061	0,149
	Архітектурні пам'ятки й туристичні об'єкти	0	0,65	0,000	0,149
	Промислові підприємства	0,2	0	0,061	0,000
2	До 1000	0	0,2	0,000	0,091

	1000–3000	0,35	0,65	0,206	0,295
	3000–6000	0,8	0,8	0,471	0,364
	6000–10000	0,35	0,35	0,206	0,159
	Більше 10000	0,2	0,2	0,118	0,091
3	До 500	0,35	0,2	0,175	0,100
	500–1000	0,8	0,65	0,400	0,325
	1000–3000	0,65	0,8	0,325	0,400
	3000–5000	0,2	0,35	0,100	0,175
	Більше 5000	0	0	0,000	0,000
4	Висока (більше 60 км/год)	0,35	0,35	0,206	0,163
	Середня (30-60 км/год)	0,8	0,65	0,471	0,302
	Низька (15-30 км/год)	0,35	0,8	0,206	0,372
	Дуже низька (менше 15 км/год)	0,2	0,35	0,118	0,163
5	До 50 п/м	0,8	0,8	0,593	0,400
	50–200 п/м	0,35	0,65	0,259	0,325
	200–400 п/м	0,2	0,35	0,148	0,175
	Більше 400 п/м	0	0,2	0,000	0,100
6	Без ускладнень	0,8	0,65	0,485	0,361
	Невеликі ускладнення	0,65	0,8	0,394	0,444
	Суттєві ускладнення	0,2	0,35	0,121	0,194

На першому етапі розрахунку отримані результати щодо потенційної потреби ділянок у паркомісцях (табл. 3.16):

**Таблиця 2.16 – Результати аналізу ділянок з точки зору потреби в паркомісцях**

Параметр	Альтернатива	Ділянка 1	Ділянка 2
7	До 50 п/м	0,306	0,379
	50–200 п/м	0,407	0,390
	200–400 п/м	0,206	0,179
	Більше 400 п/м	0,080	0,053
8	Постійна	0,272	0,275
	Маятникова	0,375	0,372
	Пікова	0,352	0,354

Як бачимо, розподіл типів потреби для обох ділянок досить близький, але для першої ділянки потреба у паркомісцях зміщена в сторону більших значень порівняно із другою ділянкою.

Далі, беручи в якості вхідних даних табл. 2.15–2.16, а також результати оцінювання геологічного середовища з табл. 2.11, були оцінені альтернативи параметрів рішень щодо ділянок (табл. 2.17).

**Таблиця 2.17 – Результати оцінювання альтернатив рішень щодо ділянок**

Параметр	Альтернатива	Ділянка 1	Ділянка 2
А	Будівництво доцільне	0,853	0,979
	Будівництво недоцільне	0,147	0,021
В	До 50 п/м	0,429	0,355
	50–200 п/м	0,444	0,456



	200–400 п/м	0,121	0,160
	Більше 400 п/м	0,007	0,028

Із отриманих результатів можна зробити ряд висновків [66]. Обидві ділянки сприятливі для будівництва підземних паркінгів, що видно із оцінок альтернатив параметра «А. Доцільність будівництва паркінгу». Це зумовлено розміщенням обох ділянок у місцях високої функціональної активності міського життя, у безпосередній близькості від офісних і адміністративних будівель, торговельних і розважальних об'єктів, навчальних закладів тощо. Проте друга з розглянутих ділянок виявилась більш сприятливою, що значною мірою пояснюється кращими показниками її геологічного середовища, розрахованими в п. 2.2. Найбільш доцільним розмірами потенційних паркінгів виявились альтернативи «50–200 паркомісць» (оцінки 0,444 і 0,456 відповідно). Високі оцінки відносно невеликих паркінгів можна пояснити як кількісними показниками структурно-функціональних факторів для розглянутих районів (радіусом у 300 м навколо паркінга), так і тим, що в оцінці геологічного середовища ваги доцільного масштабу підземного будівництва зміщені в сторону відносно невеликих площ об'єктів, що сприяє більшій стійкості підземних споруд (табл. 2.17), хоча ступінь впливу цього фактору може змінюватися в залежності від обраного типу паркінга.

Таким чином розроблені методика та інструментарій вперше дозволили поєднати оцінку впливів і зв'язків факторів геологічного, техногенного та структурно-функціонального типів для аналізу сприятливості міських територій будівництву підземних паркінгів (як з боку економічних факторів будівництва й експлуатації підземної споруди в конкретному геологічному середовищі, так і ризиків щодо затребуваності паркінга). Основою інструментарію обрано модифікований метод морфологічного аналізу, який добре зарекомендував себе у моделюванні проблемних ситуацій, об'єкти яких можуть мати велику кількість альтернативних конфігурацій за рахунок комбінування різних значень параметрів. Він дозволив, спираючись на виділені групи геологічних і техногенних факторів,

а також функціональних характеристик ділянок розглянути низку рішень і груп ризиків для оцінки доцільності освоєння підземного простору на розглянутих територіях. Застосована методика дозволяє оцінити різноманітні ризики, імовірність реалізації негативних сценаріїв та додаткові витрати з ними пов'язані ще на передпроектній стадії спорудження підземних об'єктів. Це дає в руки міських державних адміністрацій та інвесторів ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів. Розроблена методика та інструментарій можуть бути використані для побудови стратегічних майстер-планів розвитку великих міст.

### **Висновки за розділом 2**

1. Основою наукової методології для планування підземного простору мегаполісу є модифікований метод морфологічного аналізу, що поєднує оцінку впливів і зв'язків факторів геологічного, техногенного та структурно-функціонального типів для аналізу сприятливості міських територій будівництву підземних споруд, причому мережа морфологічних таблиць поєднує першочергову таблицю результатів морфологічного аналізу геологічного середовища з наступними підпорядкованими таблицями структурно-функціонального характеру.
2. Важливою складовою прийнятої методології планування підземної урбаністики є база даних геологічного середовища, сформована на основі фактичних показників властивостей ґрунтів. Для формування бази даних в межах правобережного Києва був зібраний і узагальнений матеріал інженерно-геологічних пошукувань провідних будівельних компаній столиці, який включав дані зі 362 свердловин і 512 геологічних елементів, глибиною відбору від поверхні до 60 м.
3. Розроблені морфологічні моделі, що враховують впливи таких факторів як рівень динамічного навантаження, показник статичного навантаження від поверхневої забудови, показник статичного навантаження оточуючого

грунтового масиву, вплив існуючих підземних об'єктів, генетичний тип та літологічний склад ґрунтів, розрахунковий опір ґрунту, вплив водоносних горизонтів і верховодки, тип рельєфу і морфометрія, інженерно-геологічні процеси, геотехнології будівництва підземних споруд. Із залученням методу модифікованого морфологічного аналізу проведена прогнозна оцінка сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики, що дозволило оцінити рівень і ступень ризику на різних ділянках будівництва, причому фактори статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву (з урахуванням показника текучості) та інженерно-геологічні процеси в масиві зумовили найбільший вплив на альтернативи ступеню та рівня ризиків.

4. Для планування будівництва підземних паркінгів результати аналізу сприятливості геологічного середовища, який значною мірою визначає вартість і ризики будівництва споруди, були поєднані з впливом факторів структурно-функціонального характеру, які визначають затребуваність паркінга на запланованій для будівництва території та комерційну привабливість інвестицій. Для створення моделі щодо оцінювання ділянок будівництва підземних паркінгів була побудована мережа морфологічних таблиць, що враховувала близькість житлової забудови, офісних та адміністративних будівель, торговельних та розважальних центрів, стадіонів, концертних залів, театрів, навчальних закладів, архітектурних пам'яток і туристичних об'єктів, а також промислових підприємств. Оцінені альтернативи щодо потреби в паркомісцях і ризиків будівництва підземних паркінгів.

### РОЗДІЛ 3

## ВПЛИВ ЗМІННОСТІ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА СТІЙКІСТЬ ПІДЗЕМНИХ СПОРУД

### 3.1 Аналіз змінності геомеханічних властивостей ґрунтів в залежності від комплексного показника текучості й коефіцієнта пористості

Оцінка ризиків підземного будівництва за допомогою модифікованого методу морфологічного аналізу (п. 2.2) показала високий вплив показника статичного навантаження оточуючого ґрунтового масиву (табл. 2.3), який представляв вагу ґрунтів над виробкою з урахуванням коефіцієнтів вологості.

Вплив вологості на ґрунти, як геологічне середовище поверхневих будівельних об'єктів є достатньо добре вивченим, а інструментарій його врахування увійшов до базових проектних методик та нормативних документів [67 – 69]. Це зумовлено в першу чергу запобіганням можливому просіданню ґрунту під дією навантажень від будівлі, а також небезпечним зсувним явищам. Для підземного будівництва, зокрема для проектування підземних споруд мілкого закладання, проблему зазвичай складали лише групи ґрунтів у стані текучості, що було пов'язано зі складністю будівництва в умовах пливунів. Інші категорії вологості не розглядалися як загрозливі, що знизило увагу до цього фактору. Проте фактор вологості ґрунтів може мати суттєвий вплив на формування гірського тиску на підземну споруду, на величину та розподіл діючого навантаження, оскільки зміна модуля пружності й зчеплення ґрунту призводить до очікуваного збільшення зміщень і навантажень [59, 70, 71]. З огляду на це розглянемо залежності міцнісних властивостей поширених типів ґрунтів від зміни вологості.

Вплив вологості в багатьох випадках виражають через показник текучості, тобто через відношення різниці вологостей в природному стані та на межі пластичності до числа пластичності:

$$I_l = \frac{W - W_p}{I_p} \quad , \quad (3.1)$$

де  $W$  – природна вологість;

$W_p$  – межа розкочування (або вологість на межі розкочування);

$I_p$  – число пластичності.

Розглянемо нормативний розподіл ґрунтів за показником текучості  $I_l$  для глин і суглинків [68]:

- тверді  $I_l < 0$ ;
- напівтверді  $0 \leq I_l \leq 0,25$ ;
- тугопластичні  $0,25 < I_l \leq 0,50$ ;
- м'якопластичні  $0,50 < I_l \leq 0,75$ ;
- текучепластичні  $0,75 < I_l \leq 1$ ;
- текучі  $I_l > 1$ .

Слід зазначити, що на міцнісні характеристики ґрунтів, а саме модуль деформації ( $E$ , МПа) та зчеплення ( $c_n$ , кПа) впливає комбінація показника текучості ( $I_l$ ) та коефіцієнта пористості ( $e$ ), що потребує комплексного розгляду цих показників і певною мірою ускладнює аналіз впливу окремих залежностей.

Розглянута в п. 2.1 база даних геологічного середовища (див. Додаток А) була використана для аналізу впливу показника текучості на механічні характеристики ґрунтів. Для цього було розглянуто та систематизовано дані зі 362 свердловин (512 геологічних елементів), глибиною від поверхні до 60 м, що були пробурені в правобережній частині міста Києва, найбільш перспективній для розвитку підземної урбаністики (Додаток А). З отриманого масиву даних було виділено супіски, суглинки та глини для яких побудовано поверхні залежностей модуля деформації ( $E$ , МПа) та зчеплення ( $c_n$ , кПа) від показника текучості ( $I_L$ ) та коефіцієнту пористості ( $e$ ) відповідно, причому показники були згруповані відповідно до прийнятих діапазонів (рис. 3.1).

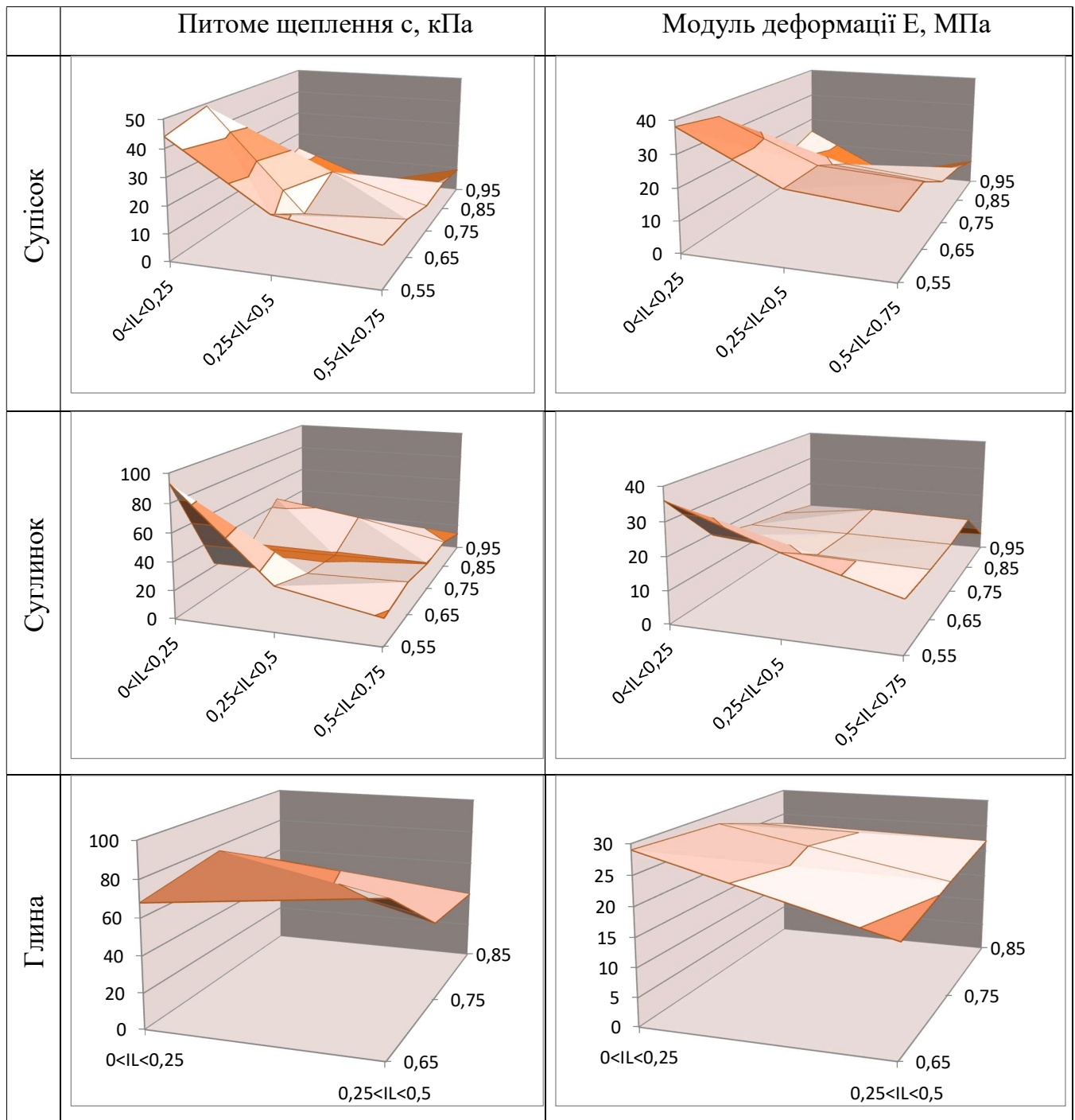


Рисунок 3.1 - Поверхні залежностей питомого щеплення та модуля деформації ґрунтів від комбінації показника текучості й коефіцієнта пористості для супісків, суглинків та глин.

З отриманих залежностей можна зробити висновок, що для всіх типів ґрунтів спостерігається тенденція зниження їх міцнісних показників (модуля деформації та зчеплення) при збільшенні вологості. Виявлена тенденція різкого

(в 2–4 рази) зниження показників питомого зчеплення та модулю деформації супісків та суглинків і дещо меншого (в 1,3 – 1,7 рази) для глин у діапазоні  $0 < I_L < 0,50$ , з подальшим незначним зменшенням у діапазоні  $0,50 < I_L < 0,75$ . Подібну тенденцію спостерігаємо і для модуля деформації. Зміна пористості також впливає на характер поверхні залежностей, але не змінює загальну тенденцію зменшення міцнісних характеристик ґрунтів. Загалом синтез показника текучості ( $I_L$ ) та коефіцієнту пористості ( $e$ ) виявився достатньо коректним та інформативним показником для аналізу зміни механічних властивостей геологічного середовища, причому саме отримані поверхні залежностей (на відміну від двовірних графіків) дозволяють наглядно представити складність характеру відображених змін з урахуванням структури ґрунту.

### **3.2 Моделювання зміщень та діючих зусиль в конструкціях підземних споруд у змінному геологічному середовищі**

Для споруд мілкового закладання базовою гіпотезою гірського тиску є «гіпотеза сил», де навантаження на кріплення підземної споруди розглядається як вага деякого об'єму ґрунту в межах призми сповзання [71, 72]. Сили тертя, що діють на площинах «призми сповзання», зумовлені зчепленням ґрунту (сн, кПа) та модулем деформації (Е, МПа), тому зміна цих базових показників при збільшенні вологості може призвести до зростання навантажень і діючих згинальних моментів у конструкціях. Сучасні обчислювальні середовища (приміром PLAXIS) здебільшого використовують геомеханічну модель Кулона – Мора і також істотною мірою реагують на змінення механічних властивостей ґрунтів.

Для того щоб оцінити вплив зміни вологості на зміщення ґрунту навколо виробки і формування навантаження на оправу, була розглянута задача будівництва тунелю круглого перерізу в умовах суцільного супіщаного, суглинистого та глиняного масивів відповідно [73], який характеризуються різними показниками текучості  $I_L$  від 0 до 1. Діаметр тунелю дорівнював 5 м. Моделювався ґрунтовий масив шириною 30 м, висотою 25 м, глибиною

закладання тунелю 20 м від підшови виробки. Задача моделювалася в середовищі PLAXIS як поетапний процес. Розрахунок підземної споруди, що взаємодіє з ґрунтовим масивом являє собою складну геотехнічну систему, поведінка якої описувалась згідно моделі Кулона – Мора. Була обрана сітки кінцевих елементів трикутної форми середньої крупності. На рис. 3.2-3.6 показані результати моделювання тунелю в суцільному ґрунтовому масиві з глибиною закладання 20 м при показнику текучості у діапазоні від  $I_L = 0$  (рис. 3.2) до  $I_L = 1$  (рис. 3.6). Змінне геологічне середовище моделювалося шляхом введення 5 параметрів: питомої ваги ґрунту, коефіцієнту Пуассона, модуля деформації, питомого зчеплення, кута внутрішнього тертя для фактичних умов, згідно з даними сформованої бази даних геологічного середовища (див. Додаток А).

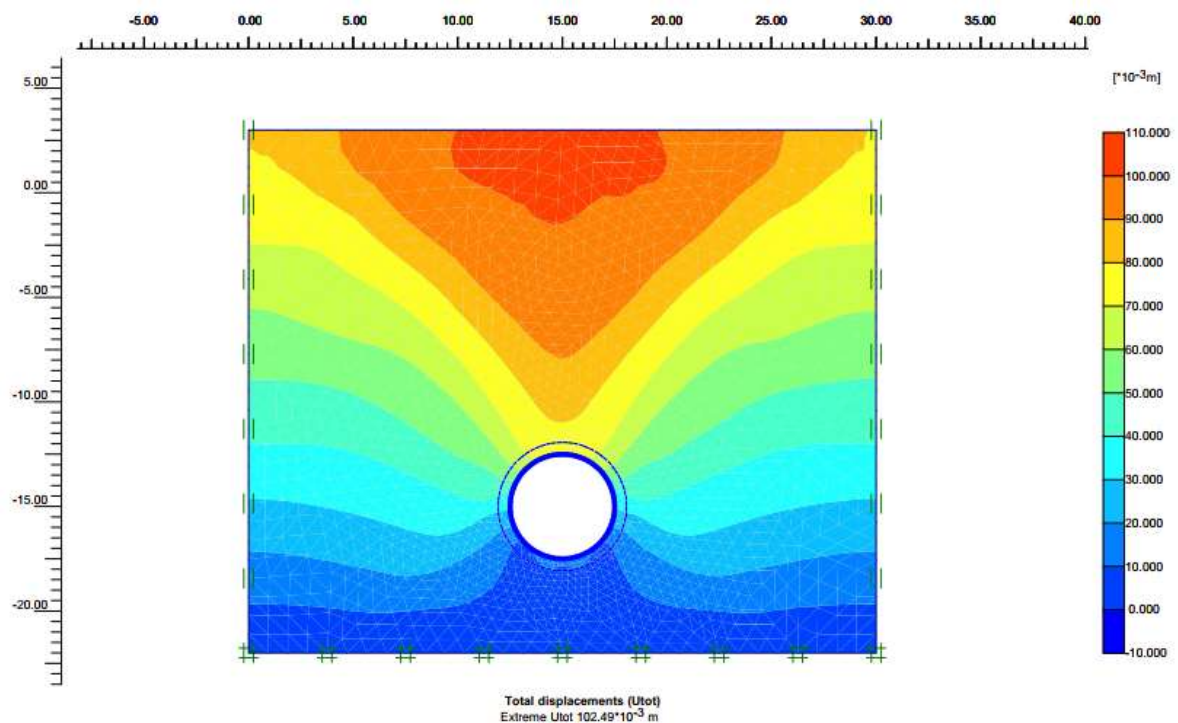


Рисунок 3.2 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному суцільному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості  $I_L = 0$



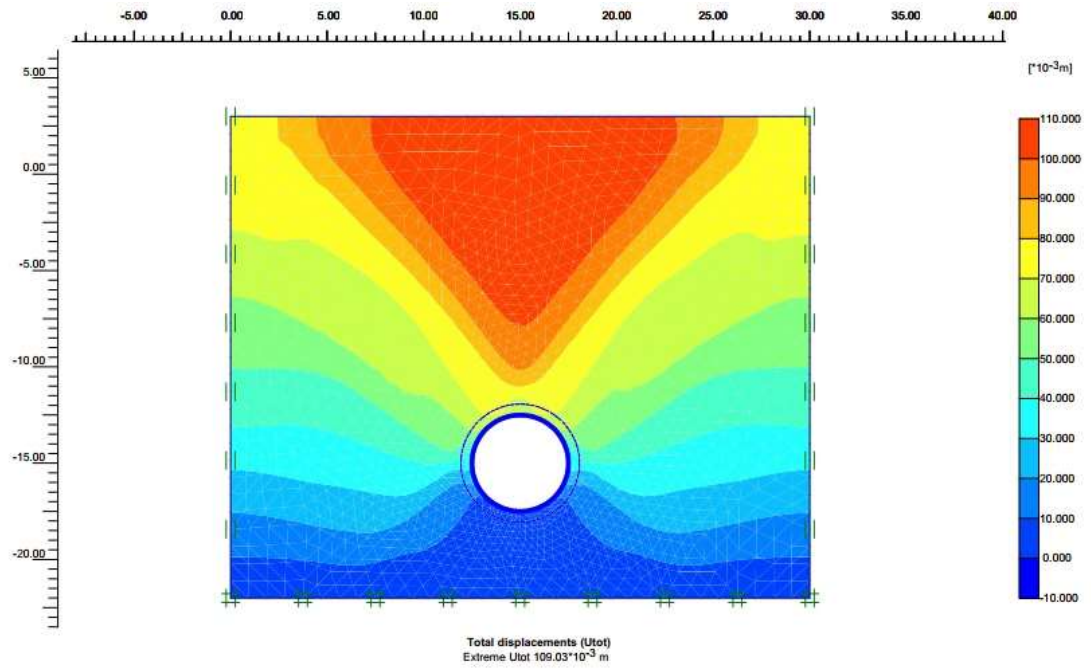


Рисунок 3.3 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному супіщаному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $IL = 0,25$

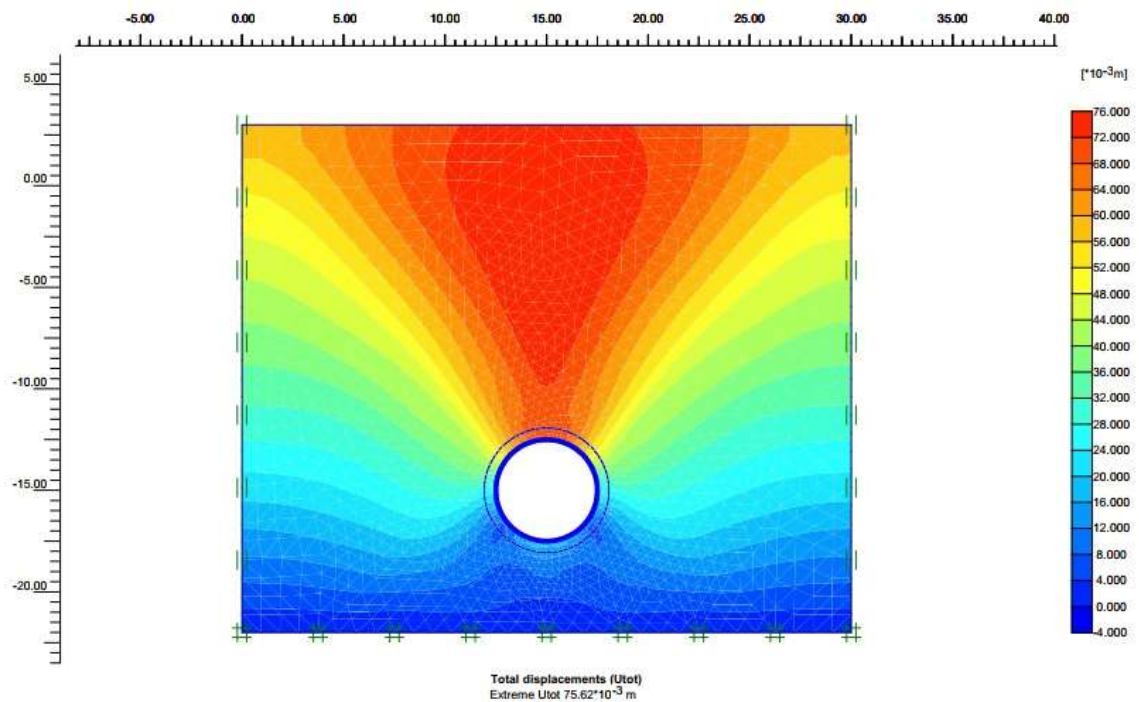


Рисунок 3.4 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному супіщаному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $IL = 0,5$

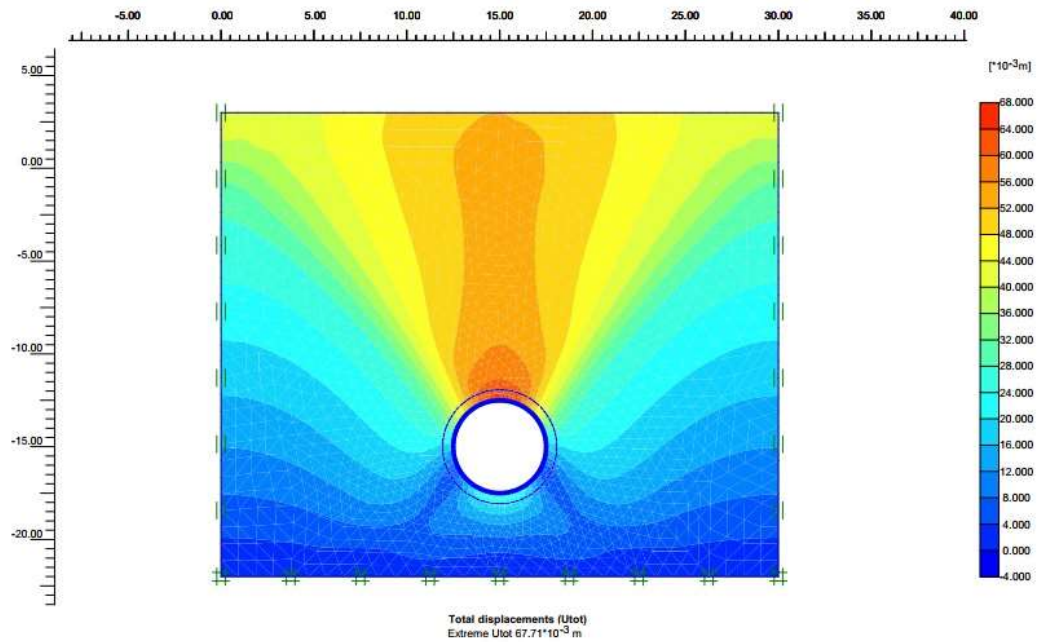


Рисунок 3.5 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному супіщаному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $I_L = 0,75$

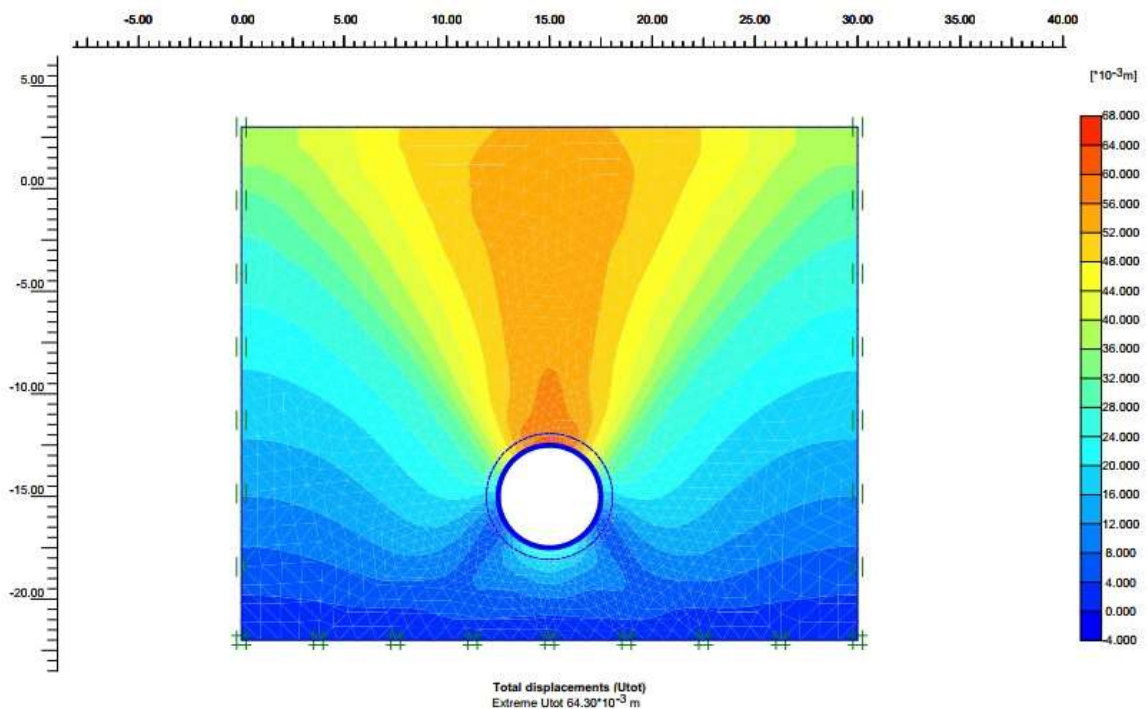


Рисунок 3.6 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному супіщаному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $I_L = 1$

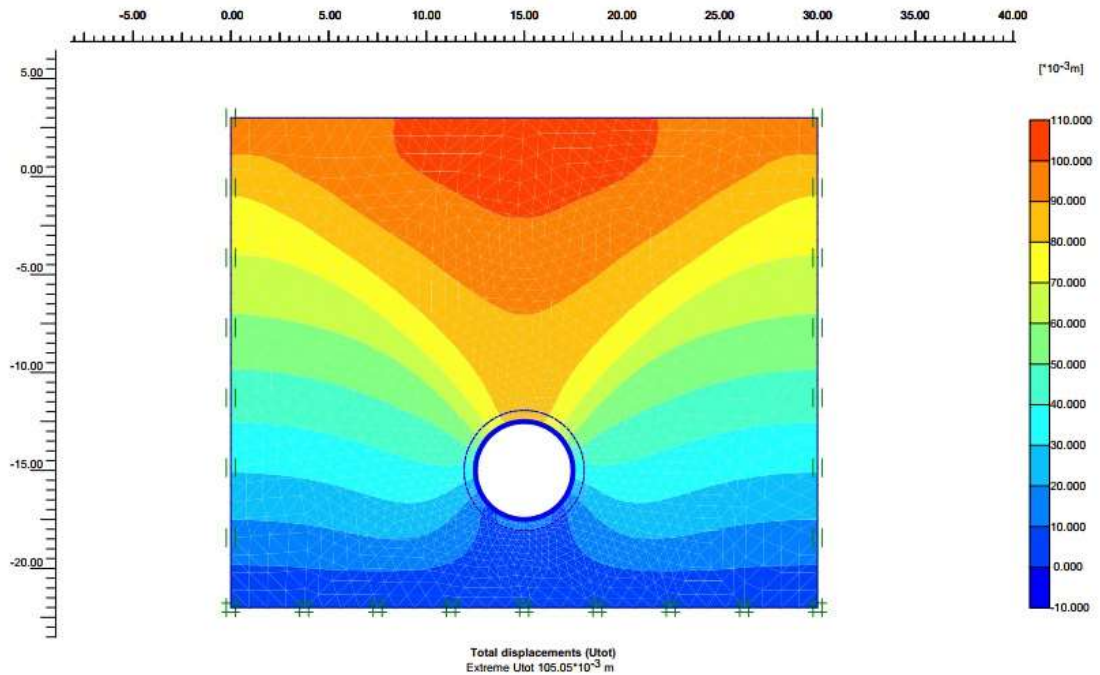


Рисунок 3.7 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному суглинистому ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості  $I_L = 0$

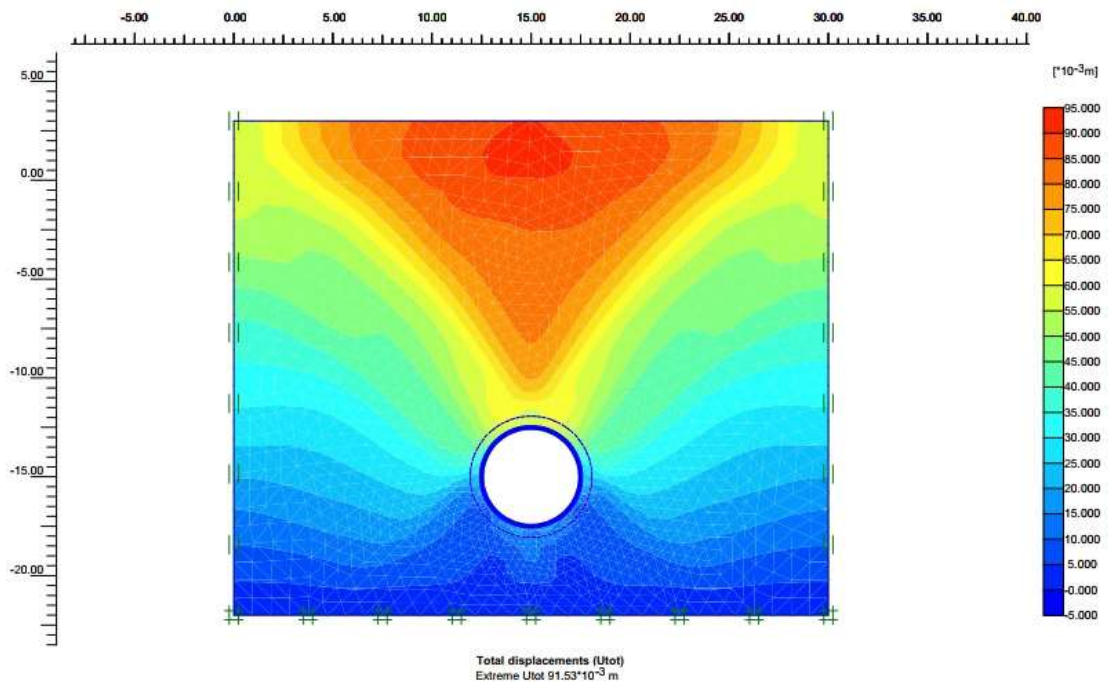


Рисунок 3.8 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному суглинистому ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $I_L = 0,25$



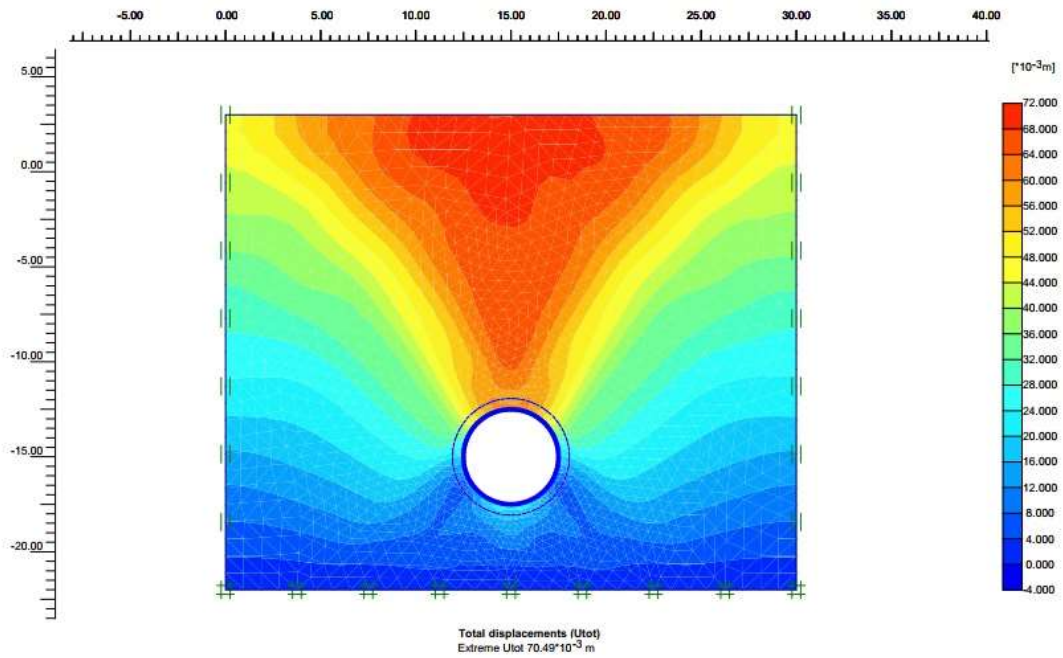


Рисунок 3.9 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному суглинистому ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $IL = 0,5$

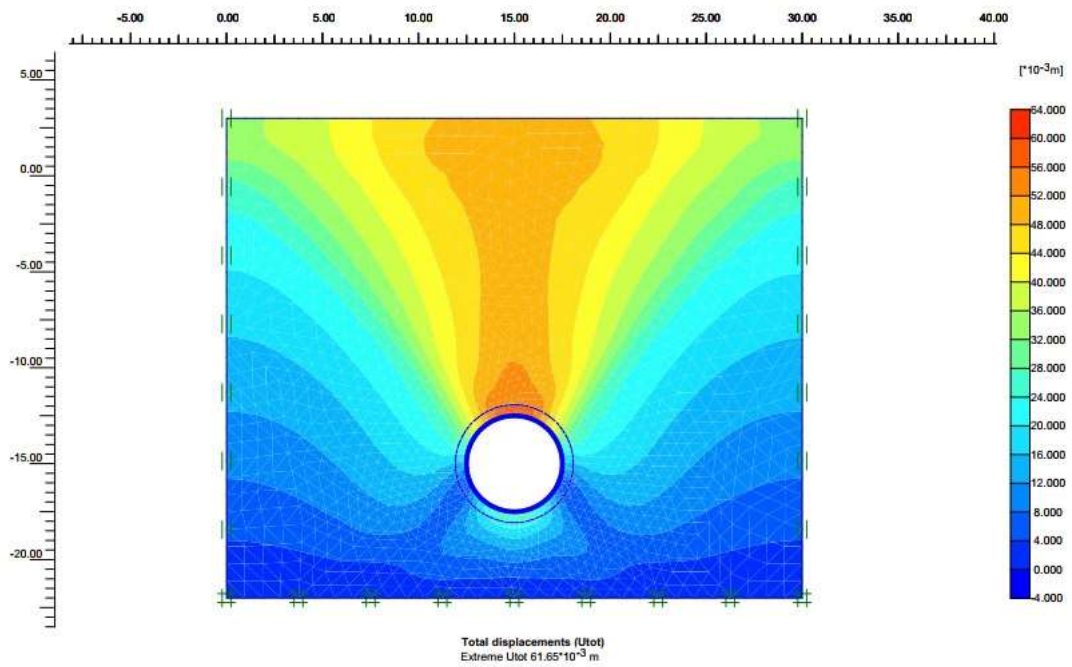


Рисунок 3.10 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному суглинистому ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $IL = 0,75$

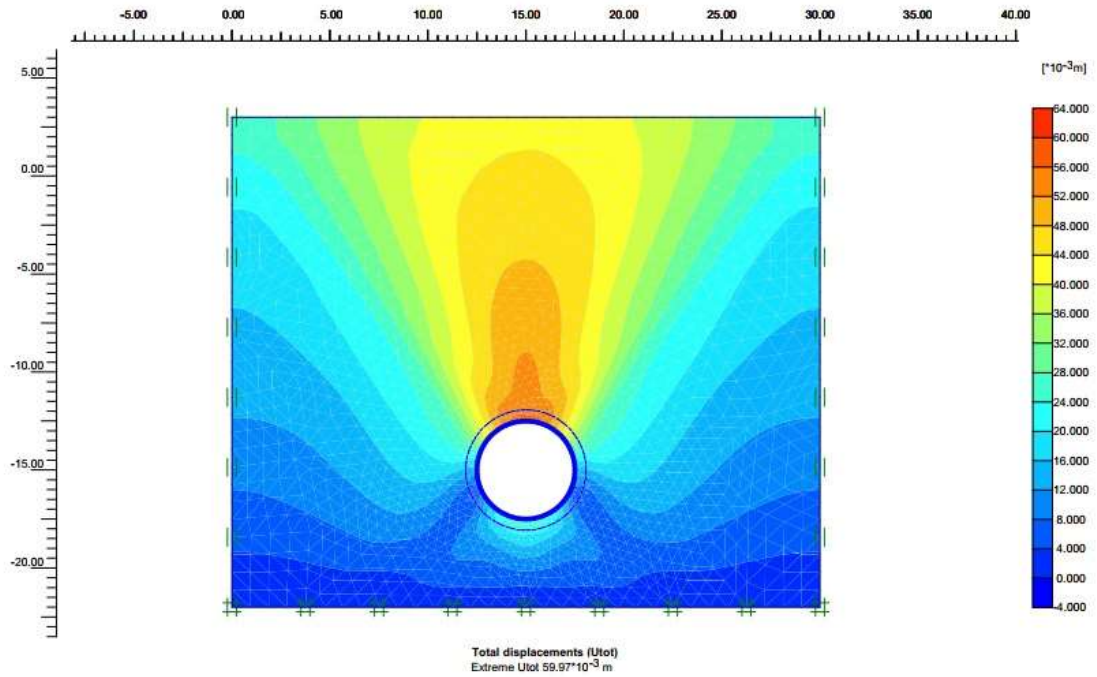


Рисунок 3.11 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному суглинистому ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $IL=1$

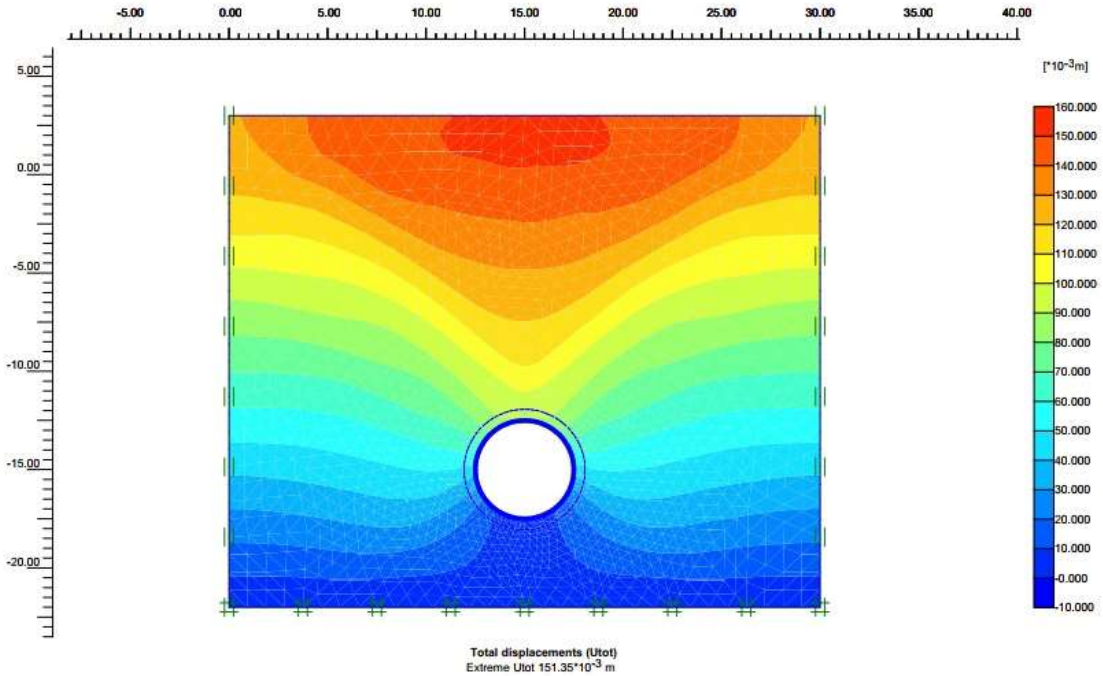


Рисунок 3.12 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному глиняному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості  $IL=0$

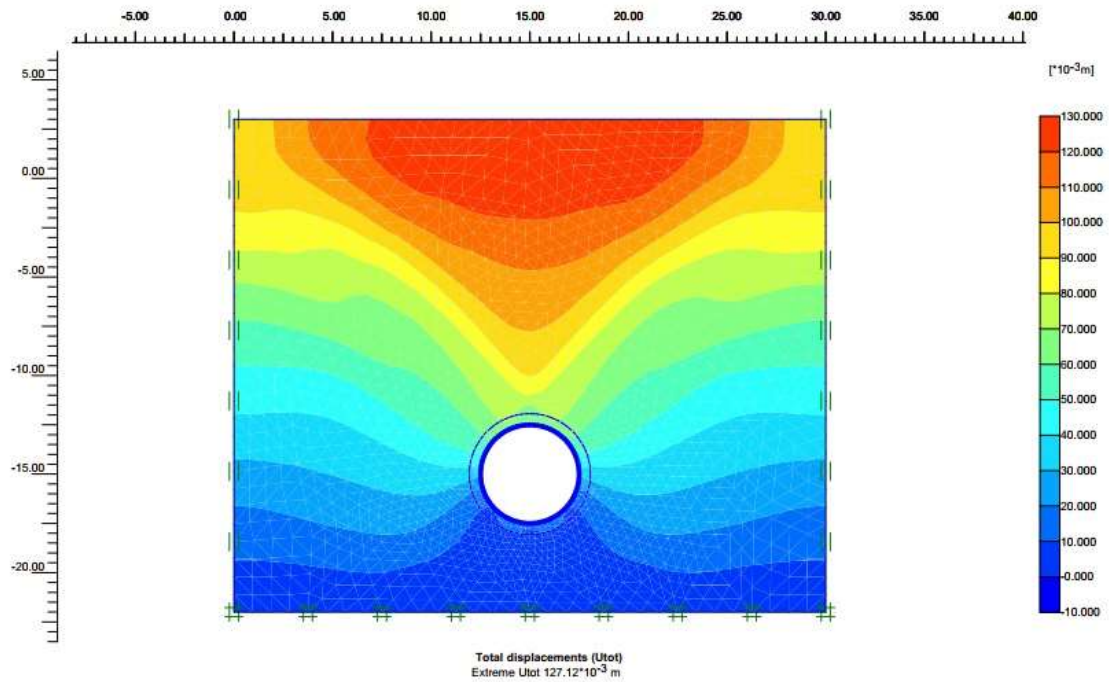


Рисунок 3.13 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному глиняному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $IL = 0,25$

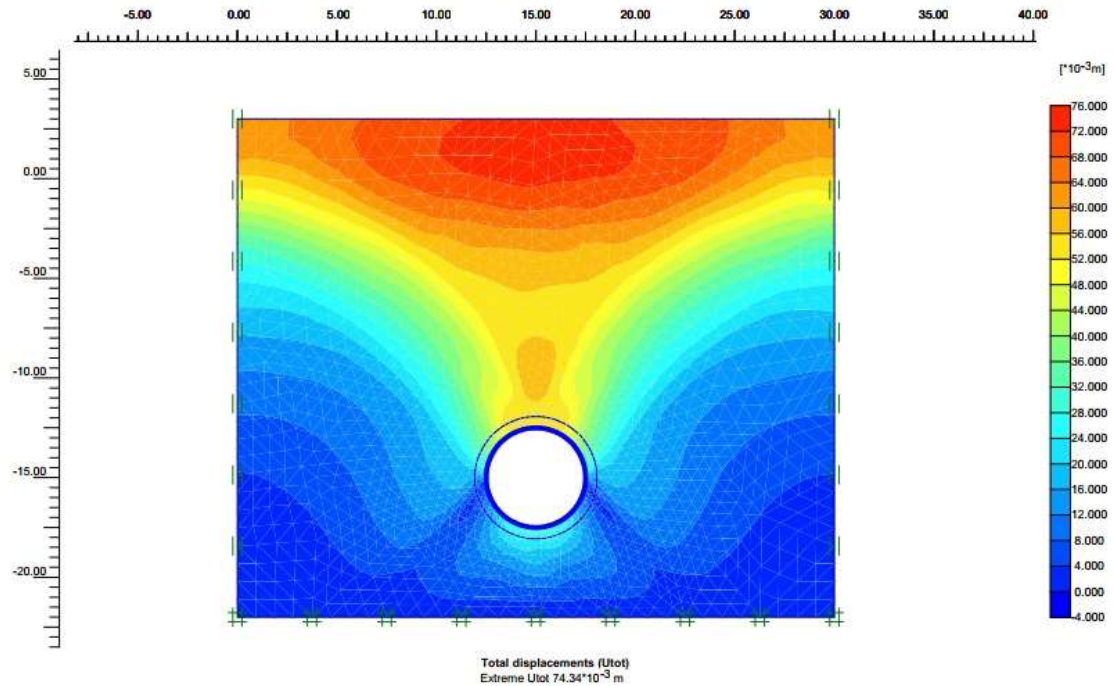


Рисунок 3.14 – Модель розподілу зміщень навколо виробки в суцільному глиняному ґрунтовому масиві на глибині 20 м при показнику текучості від  $IL = 0,35$

Порівняння зміщень навколо виробки (рис. 3.2-3.14) при зміні показника текучості свідчить про формування в умовах збільшеної вологості суцільної зони зміщень від денної поверхні до оправи тунелю, причому в покрівлі тунелю формується зона інтенсивних зміщень і навантажень. У випадку з показником текучості який дорівнює  $I_L = 0$  інтенсивні зміщення, які зосереджені поблизу денної поверхні, значно зменшуються з глибиною, а їх вплив на оправу тунелю мінімальний. З огляду на це було важливо дослідити, як змінюється згинальний момент у вершині склепіння тунелю в умовах зміни показника текучості в типових для ґрунтів правобережного Києва межах пористості в діапазоні від 0,55 до 0,85.

Як бачимо, характер зміни модулю деформації та питомого зчеплення ґрунтового масиву, що вміщує виробку мілкого закладання, описується поверхнями залежностей від комбінації показника текучості та пористості ґрунту (рис. 3.1), причому зміщення показника текучості ґрунту з діапазону  $0 < I_L < 0,50$  в діапазон  $0,50 < I_L < 0,75$  призводить до формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки для супісків, суглинків і глин, хоча в глинах цей процес йде повільніше (з меншою інтенсивністю) ніж в інших ґрунтах.

Шляхом моделювання в середовищі PLAXIS були отримані значення максимальних згинальних моментів в склепінні тунелю в залежності від показника текучості  $I_L$  для кожної з розглянутих груп ґрунтів, а саме: для супісків, суглинків та глин (рис. 3.15 – 3.20). При цьому розглядалися дві глибини закладання тунелю 20 м і 10 м.

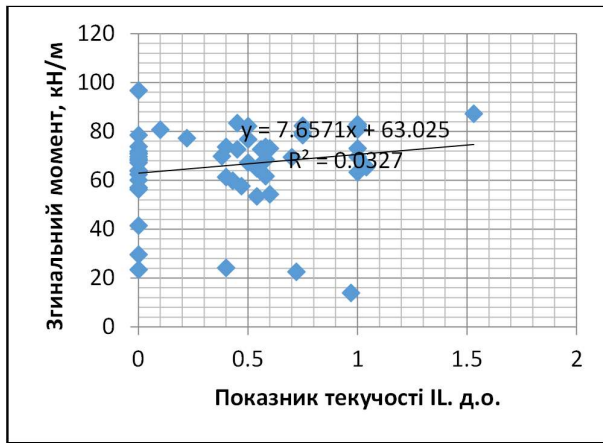


Рисунок 3.15 - Графік залежність згинального моменту від показника текучості для супісків,  $H=20$  м



Рисунок 3.18 - Графік залежність згинального моменту від показника текучості для суглинків,  $H=10$  м

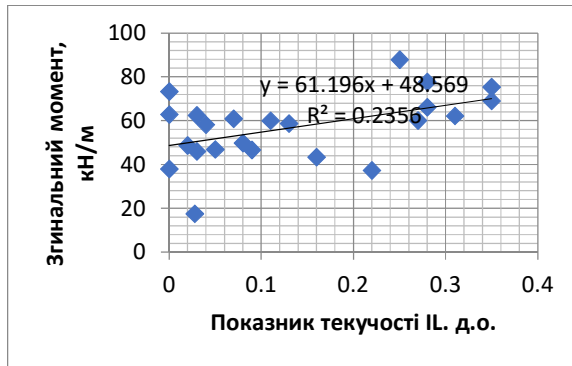


Рисунок 3.17 - Графік залежність згинального моменту від показника текучості для глина,  $H=20$  м

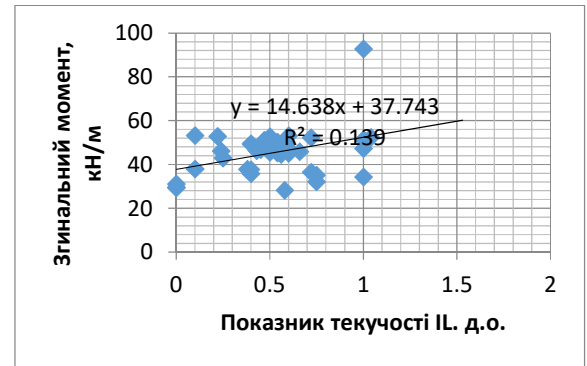


Рисунок 3.19 - Графік залежність згинального моменту від показника текучості для супісків,  $H=10$  м

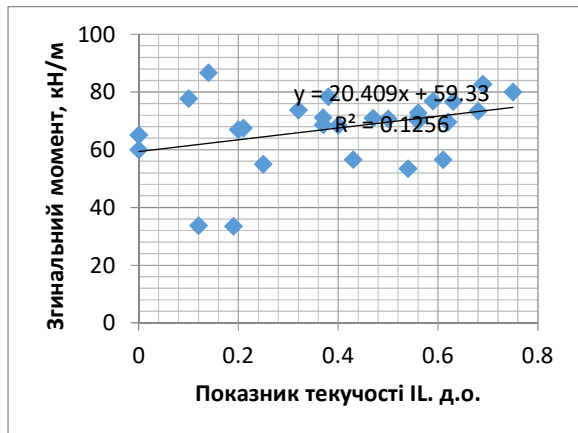


Рисунок 3.16 - Графік залежність згинального моменту від показника текучості для суглинків,  $H=20$  м

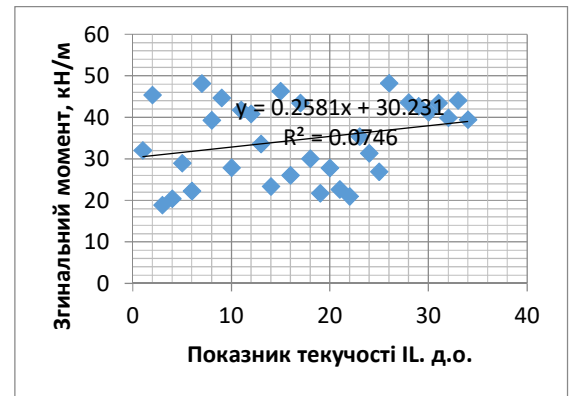


Рисунок 3.20 - Графік залежність згинального моменту від показника текучості, для глина,  $H=10$  м



Аналіз графіків дозволяє зробити наступні висновки. На всіх графіках із збільшенням показника текучості спостерігається зростання згинального моменту у вершині склепіння тунелю. Для супісків середні значення моментів можуть збільшуватися в 1,3-1,6 рази, для суглинків – у 1,2 – 1,4 рази, для глин – у 1,3 – 1,5 рази. При цьому слід зазначити, що окремі комбінації факторів пористості і текучості можуть формувати значні відхилення діючих згинальних моментів від середніх значень, формуючи в окремих випадках ще більші внутрішні зусилля в конструкції. Порівняння залежностей на глибинах закладання тунелю 10 і 20 м свідчить, що зі збільшенням глибини закладання тунелю величина згинального моменту очікувано зростає (в 1,4 – 1,8 рази в різних ґрунтах), проте вплив вологості зберігає тенденцію збільшення діючого моменту у вершині склепіння.

Отримані залежності свідчать про суттєву відмінність формування навантажень і зусиль в конструкціях підземних споруд мілкого закладання в умовах змінних показників вологості та пористості ґрунтів. Це слід враховувати в проектних рішеннях шляхом залучення імовірнісних методів прогнозування можливих відхилень від детермінованих показників механічних властивостей геологічного середовища, що закладаються в проект.

### **3.3 Врахування ризиків втрати стійкості підземних споруд за допомоги синтезу методів скінченних елементів і Монте-Карло**

Значна кількість факторів впливу на конструктивну надійність підземної споруди має імовірнісну природу, для якої можуть бути встановлені різні категорії невизначеності: просторова мінливість і геологічні фактори, помилки, що виникають при змінах і оцінках геомеханічних параметрів, включаючи їх статистичний розподіл, неповне врахування навантажень і упущення, що виникли в ході проектування і будівництва. Кожен підземний об'єкт має свою вартість будівництва, яка визначається на початковому етапі його параметрами та ринком будівельних послуг, і корегується в ході будівництва фактичними геологічними умовами. Змінність геологічного середовища, окремих властивостей ґрунтів веде

до суттєвих ризиків виникнення проектних помилок першого (завищений запас міцності) і другого (недостатній запас міцності) роду й потребує врахування в проектних рішеннях [74, 75].

Змінними геомеханічними параметрами ґрунтів можна вважати такі параметри як об'ємна вага, кут внутрішнього тертя, модуль деформації, коефіцієнт Пуасона, питоме зчеплення, які не мають чіткого фіксованого значення в масиві порід (ґрунтів) навколо підземної споруди, а можуть приймати різні значення в можливих діапазонах змін. Не можна точно передбачити, яке значення матиме один з цих параметрів у будь-якому конкретному місці геологічного середовища, що вміщує підземний об'єкт, отже, ці параметри описуються як випадкові величини [76-78].

Нормальний або Гаусовий розподіл є найбільш поширеним типом функції розподілу ймовірностей, і розподіл багатьох випадкових величин відповідає цьому розподілу. Він зазвичай використовується для імовірнісних досліджень в інженерній геотехніці, якщо немає вагомих підстав для вибору іншого розподілу. Зазвичай змінні, які виникають як сума ряду випадкових ефектів, жодна з яких не домінує над сумою, розподіляються таким чином.

Очевидно, що бажано включати якомога більший набір спостережень, але в геотехніці існують серйозні практичні і фінансові обмеження на обсяги даних, які можуть бути зібрані. Отже, часто буває необхідно робити оцінки на основі судження, досвіду або зіставлення з результатами, опублікованими іншими. Ці труднощі часто використовуються як привід для відмови від використання імовірнісних інструментів в інженерній геотехніці, але, досвід демонструє, що корисні результати можуть бути отримані навіть з обмежених виборок [78].

Перспективним напрямком є отримання кількісної оцінки ризику втрати носійної здатності геобудівельної конструкції шляхом використання синтезу двох сучасних способів моделювання – чисельного методу скінчених елементів (МСЕ) [79] і ймовірнісного методу Монте-Карло (ММК) [80-82]. Переваги такого об'єднання полягають у переході від детермінованих методів вирішення складних геомеханічних задач до врахування імовірнісних відхилень і оцінки ризиків.

Реалізація ідеї синтезу методів МСЕ + ММК може здійснюватися в трьох варіантах. Перший - використання єдиного програмного комплексу, що об'єднує відомі комп'ютерні технології МСЕ і ММК. Другий - генерація вхідної інформації по ММК, багаторазове рішення за МСЕ відповідно до виконаної генерації, інтерактивна обробка вихідного інформаційного масиву. Третій варіант полягає в роздільному виконанні завдання методами чисельного та імітаційного моделювання з подальшим зіставленням отриманих результатів.

Як приклад розглянемо задачу, яка відображує реальні умови будівництва штольні Сирецького самопливного колектору (м. Київ), натурні дослідження якої увійшли в розділ 4. Моделювалась конструкція залізобетонної штольні квадратного перерізу розміром 2х2 м, яка споруджується в двошаровому ґрунтовому масиві розміром (в моделі) 20х20 м. 1-й шар, товщиною 5 м, який залягає в покрівлі штольні складається з супіску, 2-й шар, який вміщує споруду - пісок. Для вирішення задачі оцінки зміщень (деформацій) елементів конструкції був обраний другий варіант синтезу зазначених методів (генерація вхідної інформації за ММК, багаторазове рішення за МСЕ), для реалізації якого було використано розрахунковий комплекс Plaxis 8.2 та інструмент аналізу даних «Генерація випадкових значень» у програмі Excel. Будівництво котловану моделювалося в середовищі Plaxis як поетапний процес. Розрахунок заглибленої споруди, що взаємодіє з ґрунтовим масивом являє собою складну геотехнічну систему. Поведінка ґрунтового масиву моделюється згідно відомій моделі міцності ґрунту Кулона – Мора. Моделювання ситуації залежить від ступеня подрібнення сітки скінчених елементів, у даній задачі обрано середня щільність сітки трикутних 15-вузлових елементів. На рис. 3.21 показана модель виробки в ґрунтовому масиві.

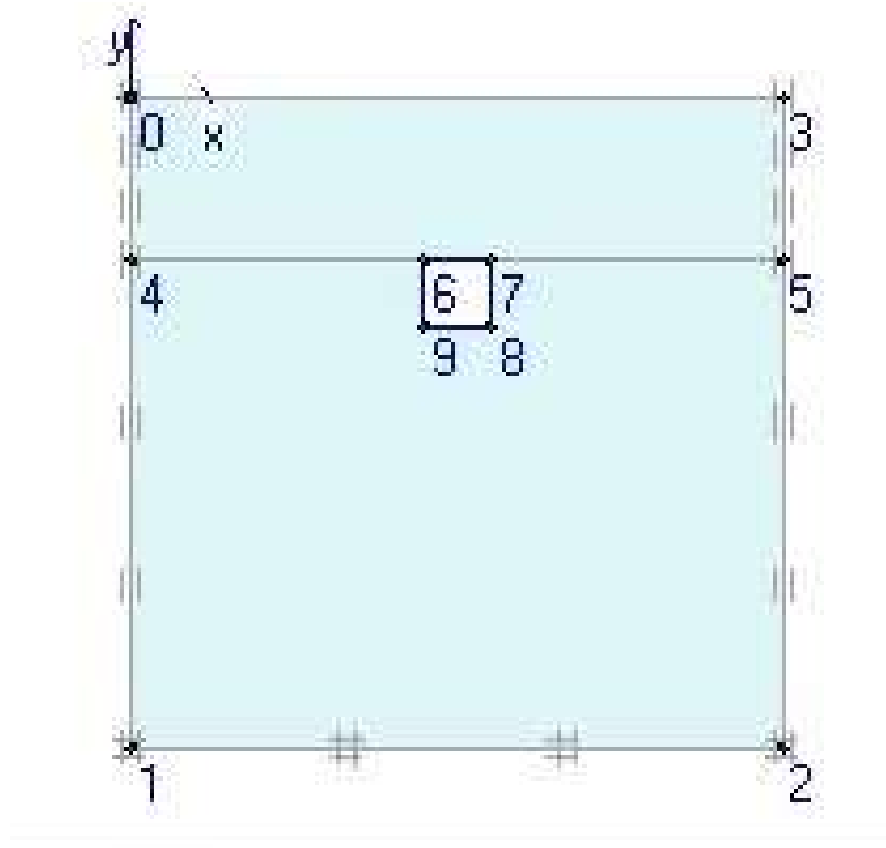


Рисунок 3.21 – Модель штольні в ґрунтовому масиві

У поставленій задачі ризик залежить від кількох детермінованих та стохастичних величин, які наведені в таблицях 3.1 і 3.2.

Детерміновані параметри моделі

Таблиця 3.1

Найменування параметра	Значення детермінованих параметрів
Глибина залягання штольні Н, м	5
Параметри ґрунтового масиву В, м	20x20
Переріз штольні h, м	1,76x2.07
Товщина бетонних блоків d, м	0,14
Нормальна жорсткість ЕА, кН/м	588000
Згинальна жорсткість ЕІ, кНм <sup>2</sup> /м	960,3

## Стохастичні параметри моделі

Таблиця 3.2

Найменування параметра	Значення випадкових параметрів	
	Середнє	Стандартне відхилення
Питома вага ґрунту $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	17.944	1.236
Коефіцієнт Пуасона $\nu$	0.35	0.05
Модуль деформації $E_{ref}$ , кН/м <sup>2</sup>	19846	8933
Питоме зчеплення $C_{ref}$ , кН/м <sup>2</sup>	18.769	12.981
Кут внутрішнього тертя $\phi$ , °	20.186	3.240
Показник текучості $IL$ , д.о.	0.408	0.388

Значення випадкових параметрів зазначених в таблиці 3.2 було взято зі сформованої бази геологічних даних правобережного Києва (п. 2.1). Для значень стохастичних параметрів було обрано нормальний (Гаусовий) розподіл.

Мінімальну кількість необхідних ітерацій визначимо за формулою [82]:

$$n = \left(\frac{d}{a}\right)^2 \frac{1-p}{p} \quad (3.2)$$

де  $n$  - кількість ітерацій;

$d$ - нормальне стандартне відхилення за таблицею 3.3;

$a$ - допустима помилка;

$p$ - імовірність відмови.

Нормальне стандартне відхилення

Таблиця 3.3

Відсоток довіри (%)	Нормальне стандартне відхилення (d)
80	1,28
85	1,44
90	1,64
95	1,96
99	2,57

Імовірність відмови оцінюється як  $p = 0,1$ , що забезпечує прийнятний для умов геологічного середовища показник. Розраховують кількість імітацій Монте-Карло, необхідних для оцінки даної ймовірності. Практика геобудівництва свідчить, що допустима помилка може складати до 20%. Тоді:

$$d = 1,64, \alpha = 0,2 \text{ і } p = 0,1 \quad n = \left(\frac{1,64}{0,2}\right)^2 \frac{1-0,1}{0,1} = 605 \quad (3.3)$$

За результатами розрахунку бачимо, що мінімальна кількість ітерацій повинна бути не менше 605.

На основі цього було згенеровано масив даних вищезазначених випадкових параметрів (для кожного параметру по 605 значень). Розіграш випадкових (стохастичних) параметрів здійснювався за допомогою інструменту аналізу даних «Генерація випадкових значень» у пакеті EXCEL за нормальним законом розподілу окремо для кожного параметра. Відповідно до табл. 3.3 були отримані середні та середньо-квадратичні відхилення.

Слід зазначити, що для імітаційного моделювання в середовищі PLAXIS послідовно змінювалися лише геомеханічні параметри (табл. 3.2), чим моделювалося змінне геологічне середовище, для детермінованого ж розрахунку були взяті лише середні значення.

Результати детермінованого розрахунку засвідчили, що максимальне зміщення (деформація) конструкції штольні в ґрунтовому масиві складає 17,74 мм. Проте детермінований підхід не дозволяє кількісно оцінити надійність або зворотне значення – ризик.

Результати імітаційного моделювання, зібрані в гістограму ризику деформацій споруди (рис. 3.11), свідчать, що ймовірність досягнення результатів детермінованого розрахунку складає 58.35 %, а ймовірність відхилення в бік інтенсифікації зміщень сумарно складає 9,58%. Реалізація зазначеного ризику може призвести до збільшення витрат, пов'язаних з ремонтом чи перекріпленням штольні на окремих її ділянках у зв'язку зі збільшенням зміщень, в окремих випадках - до відмови оправи штольні. Замовник (інвестор) проекту повинен бути

попереджений про існуючі ризики й можливі економічні наслідки їх реалізації й прийняти рішення щодо стратегії управління ризиками [59, 82].

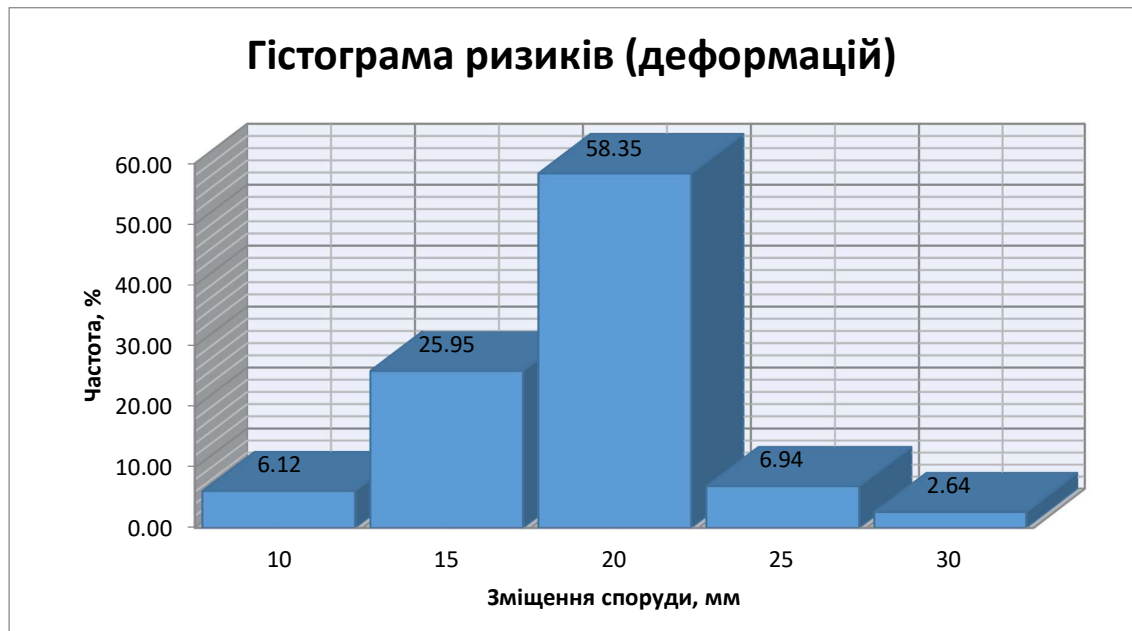


Рисунок 3.22 – Гістограма ризику деформацій споруди

Таким чином, широко розповсюджений у проектуванні інженерних об'єктів метод скінчених елементів та різні програмні комплекси його реалізації можуть бути ефективно доповнені програмним інструментарієм імовірнісних методів. Оскільки геологічне середовище характеризується значною змінністю параметрів, висока варіативність яких пов'язана з невизначеністю поведінки ґрунтів і не може бути досліджена повністю, проектування геобудівельних споруд повинно спиратися на синтез детермінованих та ймовірнісних методів розрахунків, а також широко використовувати методи системного аналізу (див. розділ 2).

### Висновки за розділом 3

1. Побудовані поверхні залежностей модуля деформації ( $E$ , МПа) та зчеплення ( $c_p$ , кПа) від показника текучості ( $I_l$ ) та коефіцієнту пористості ( $e$ ) для супісків суглинків та глин. Встановлено, що для всіх типів ґрунтів спостерігається тенденція зниження їх міцнісних показників (модуля деформації та зчеплення) при збільшенні вологості. Особливо різке падіння

- показника зчеплення (в 2-4 рази) спостерігається для супісків і суглинків при зміні показника текучості  $I_L$  від 0 до 0,5. В глинах цей спад повільніший, показник зчеплення зменшується в 1,3 – 1,5 рази. Подібну тенденцію спостерігаємо і для модуля деформації. Зміна пористості також впливає на характер поверхні залежностей, але не змінює загальну тенденцію зменшення міцністних характеристик ґрунтів.
2. Для супіщано-суглинистих ґрунтів із збільшенням показника текучості спостерігається зростання згинального моменту у вершині склепіння тунелю. Для супісків середні значення моментів можуть збільшуватися в 1,3-1,6 рази, для суглинків – у 1,2 – 1,4 рази, для глин – у 1,3 – 1,5 рази. Порівняння залежностей на глибинах закладання тунелю 10 і 20 м свідчить, що зі збільшенням глибини закладання тунелю величина згинального моменту очікувано зростає (в 1,4 – 1,8 рази в різних ґрунтах), проте вплив вологості зберігає тенденцію збільшення діючого моменту у вершині склепіння.
  3. Зміщення показника текучості ґрунту з діапазону  $0 < I_L < 0,50$  в діапазон  $0,50 < I_L < 0,75$  призводить до формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки. Результати моделювання змінного геологічного середовища шляхом синтезу методів скінчених елементів і Монте-Карло, свідчать про існування ризику збільшення деформацій споруди в ґрунтовому масиві в порівнянні з детермінованим розрахунком, причому цей ризик становить для розглянутих умов близько 10%.



## РОЗДІЛ 4

### НАТУРНІ Й ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІННОГО ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА КОНСТРУКЦІЙ КРІПЛЕННЯ ШТОЛЬНІ СИРЕЦЬКОГО САМОПЛИВНОГО КОЛЕКТОРУ

#### 4.1 Методика обстеження технічного стану штольні

Для визначення наслідків відхилення показника текучості ґрунту на формування зміщень (деформацій) збірних залізобетонних елементів штольні було проведено обстеження технічного стану елементів кріплення, що дало змогу оцінити пошкодження та дефекти, які виникли за період будівництва й здачі об'єкта в експлуатацію.

Технічний стан окремих конструкцій визначається в результаті загального аналізу дефектів і пошкоджень виявлених за результатами обстеження. За носійною здатністю й експлуатаційними властивостями технічний стан конструкції відносять до однієї із категорій [83]:

1 – Нормальний стан – це стан, при якому зусилля в елементах і перетинах не перевищує допустимих значень згідно розрахунку. Відсутні пошкодження та дефекти, які зменшують носійну здатність, та довговічність або перешкоджають нормальній експлуатації. При цьому стані необхідно забезпечити нормальну експлуатацію конструкцій.

2 – Задовільний стан – це стан, який за експлуатаційними якостями конструкції відноситься до категорії технічного стану 1, але мають незначні відхилення від вимог зазначених в проектній документації, пошкодження і дефекти, які можуть знижувати термін служби конструкції, або частково порушувати вимоги другої групи граничних станів, що в конкретних умовах не обмежує експлуатації якості конструкції та використання об'єкта за визначеним призначенням. Необхідне виконання заходів щодо захисту будівельних конструкцій.

3 – Непридатний до нормальної експлуатації стан – це стан, при якому конструкції не відповідають категоріям технічного стану 1 та 2 щодо нормальної реалізації захисних функцій або носійної здатності об'єкта, але аналіз пошкоджень і дефектів з перевірними розрахунками виявляє можливість забезпечення її цілісності до проведення підсилення, ремонту, або заміни. Необхідно виконати підсилення, ремонт, або заміну конструкції, але до завершення наведених заходів дозволяється використовувати об'єкт лише за обмеженим режимом експлуатації, з контролем стану конструкції, навантаження та впливу.

4 – Аварійний стан – це стан, при якому було порушено вимоги першої групи граничних станів (або неможливо цим порушенням запобігти) і аналіз пошкоджень та дефектів з перевірними розрахунками демонструє неможливість гарантувати конструкційну цілісність до проведення підсилення, ремонту, або заміни (особливо, якщо можливий «крихкий» характер руйнування), або остаточно втрачена можливість нормальної реалізації захисних функцій конструкції. Необхідно передбачати заходи щодо техніки безпеки: обмежити можливість перебування людей в зоні можливого обвалення або вжити заходів, які унеможливають таке обвалення до проведення підсилення, ремонту або заміни конструкції або до повної ліквідації об'єкта. Ремонт, підсилення або заміни конструкції або до ліквідації об'єкта.

Технічний стан об'єкта в цілому оцінюють в залежності від технічного стану носійних та огорожувальних конструкцій шляхом віднесення до однієї із чотирьох категорій технічного стану:

Об'єкт належить до 1-ї категорії технічного стану (нормальний), якщо всі його конструкції віднесено до 1-ї категорії технічного стану.

Об'єкт відноситься до 2-ї категорії технічного стану (задовільний), якщо в ньому є конструкції з 2-ї категорії технічного стану і відсутні конструкції категорії відповідальності А1, А або Б з технічним станом категорії 3 та відсутні конструкції вищенаведених категорій відповідальності з 4-ї категорії технічного стану.

Наявність окремих конструкцій категорії відповідальності В з технічним станом 3-ї категорії допускається за умови, що це не обмежує використання об'єкта за визначеним призначення.

Об'єкт 3-ї категорії технічного стану (не придатний до нормальної експлуатації) за умови, що в ньому є конструкції категорії відповідальності А1, А або Б з технічним станом 3-ї категорії і відсутні конструкції цих категорій відповідальності з технічним станом категорії 4.

Наявність окремих конструкцій категорії відповідальності В з технічним станом 4-ї категорії допускається за умови відсутності небезпеки для здоров'я і життя людей, майна та довкілля.

Об'єкт має використовуватись з обмеженим режимом експлуатації до завершення заходів з відновлення експлуатаційної придатності або до повного виведення з експлуатації.

Об'єкт 4-ї категорії технічного стану (аварійний) за умови, що в ньому є конструкції категорії відповідальності А1, А або Б з технічним станом категорії 4. Експлуатація такого об'єкта має бути зупинена до відновлення його експлуатаційної придатності або ліквідації.

Обстеження технічного стану здійснюється у відповідності до наступних нормативних документів:

- ДБН В.1.2.-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд»;
- ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану»;
- «Положення з питань обстеження, оцінки технічного стану, паспортизації, та поточної експлуатації штучних споруд метрополітену»;
- «Інструкція по виконанню геодезично-маркшейдерських робіт».
- «Інструкції з поточного утримання штучних споруд метрополітенів»;

Обстеження конструкції залізобетонної штольні здійснюється за допомогою наступних інструментів та технічних засобів:

- нівелір;
- рейка нівелірна шашкова 3м;
- тахеометр;
- лінійка вимірювальна металева по ДСТУ 427:2009;
- рулетка лазерна;
- рулетка вимірювальна по ДСТУ 4179-2003\*;
- фотоапарат;
- лінійка тріщиномірна точністю до 0,1 мм (Рис 4.1).

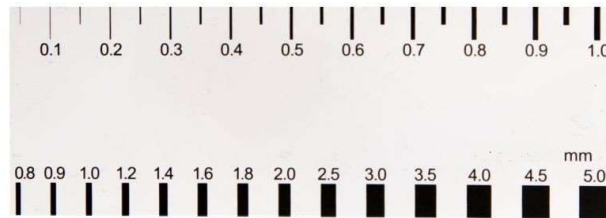


Рисунок 4.1 – Лінійка для визначення ширини розкриття тріщин

Обстеження конструкцій тунельної оправи відбувались за наступною послідовністю:

1. Опрацьовували виконавчу та технічну документацію;
2. Виконували інструментальні заміри геометричних параметрів конструкцій тунельної оправи;
3. Визначали величини осідання тунельної оправи на обстежувальній ділянці шляхом прокладання нівелірного ходу IV класу по колійних реперах;
4. Фіксували дефекти та пошкодження;
5. Виконували камеральну обробку даних;
6. Складали акти обстежень з визначенням технічного стану конструкцій.

## 4.2 Результати обстеження штольні на ділянці Сирецького самопливного каналізаційного колектора

Для визначення можливих наслідків впливу змінного показника текучості ґрунту на залізобетонні елементи конструкції штольні виконані роботи з візуального обстеження технічного стану конструкції на ділянці Сирецького самопливної каналізаційного колектора К1-7 – К1-8.

Будівництво штольні на зазначеній ділянці відбувалося з вересня по листопад 2019 р. на замовлення ПрАТ «Київводоканал». Будівництво виконувалось закритим (підземним) способом в слабких нестійких ґрунтах, з тимчасовим кріпленням до того часу, коли було влаштовано постійне кріплення.

Штольня споруджена з залізобетонних елементів (блоків): верхнього (ВБ), нижнього (НБ) та бокових (ББ), кожен товщиною близько 140 мм (рис. 4.2)

В геологічній будові майданчика до розвіданої глибини 8,0 м приймають участь: сучасні насипні відклади, що підстеляються флювіогляціальними піщаними ґрунтами. Основна товща насипу представлена супіском з вмістом будівельного сміття. Флювіогляціальні відклади представлені мілким піском, супіском.

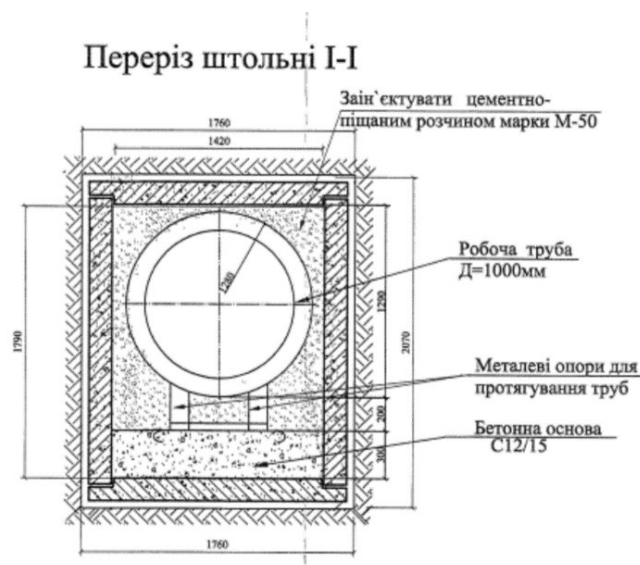


Рисунок 4.2 – Переріз штольні зі збірних залізобетонних блоків  
під час експлуатації

Відстань від денної поверхні до покрівлі тунельної оправи на обстежуваній ділянці становить від 4,67 м до 4,68 м.

Візуальне обстеження проведено з метою виявлення видимих дефектів в кріпленні штольні в місцях максимальних змін профілю, які спостерігаються на графіку зміщень.

Під час візуального обстеження виявлено наступні пошкодження:

- нерівномірне зміщення конструкції із залізобетонних елементів (рис. 4.3);
- окремі випадки деформації елементів у покрівлі понад 80 мм (рис. 4.4);
- відмова верхнього елемента (ВБ) конструкції залізобетонної штольні на ПК0+025 (рис. 4.5);



Рисунок 4.3 – Нерівномірне осідання конструкції з залізобетонних блоків



Рисунок 4.4 – Просідання конструкції понад 80 мм



Рисунок 4.5 – Відмова верхнього блока (ВБ) на ПК0+025



За результатами періодичних інструментальних геодезично-маркшейдерських спостережень за висотним положенням штольні на обстежуваній ділянці, максимальні величини зміщення досягли:

- в точці 1 на ПК0+025 – 80 мм;
- в точці 2 на ПК0+0 – 10 мм

Як видно з наведених вимірювань зміщення штольні за її довжиною відбувалися нерівномірно. Під час візуального обстеження ділянки штольні (в місцях максимальних переломів профілю), в районі окремих верхніх пікових точок були виявлені сколи верхніх елементів ВБ в місцях примикання до бокового елемента (ББ) під кутом 45 градусів.

Таким чином зміщення характеризуються нерівномірністю, сягають в окремих випадках до 80 мм, спостерігаються одиничні відмови верхніх елементів кріплення, що свідчить про формування гірського тиску значно вищого за проектну величину. Враховуючи те, що ділянка обстеження за своїм розташуванням знаходиться поза зоною динамічних впливів, причиною розбіжності очікуваних (проектних) і фактичних проявів гірського тиску слід вважати змінність властивостей геологічного середовища (вміщуючого масиву), у першу чергу пов'язану зі зміною його вологості.

#### **4.3 Методика і результати лабораторних досліджень фізичних властивостей зразків ґрунту, порівняння з проектними показниками**

Як показали попередні дослідження (розділ 3), при збільшенні показника текучості ґрунту спостерігається формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки, збільшення навантаження на оправу та діючих зусиль в елементах конструкції, що може призводити до небезпечних деформацій і відмов елементів кріплення.

Методикою досліджень передбачалось виконання лабораторних іспитів зразків ґрунтів з метою визначення фактичних значень показника текучості та порівняння їх з проектними значеннями.

Безпосередньо з ґрунтового масиву в покрівлі штольні були відібрані проби ґрунтів, представлені супісками, та визначені їх характеристики, а саме природна



вологість, вологість на межі розкочування, вологість на межі текучості, число пластичності та показник текучості. Режим вологості відповідав календарному періоду "осінь-зима".

Лабораторне визначення фізичних властивостей ґрунтів здійснюється згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 в лабораторії Українського Державного науково-дослідного і проектно-вишукувального інститута «УКРНДІВОДОКАНАЛПРОЕКТ».

**Визначення вологості ґрунту методом висушування до постійної маси**  
Вологість ґрунтів визначається відношенням маси води, вилученої із ґрунту висушуванням до постійної маси, до маси висушеного ґрунту. Пробу ґрунту зважують в закритому стаканчику. (рис. 4.6). Після чого стаканчик відкривається і разом з кришкою поміщається у сушильну шафу. (рис. 4.7). Ґрунт висушується при температурі  $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$  до постійної маси. Потім висушений ґрунт зі стаканчиком і кришкою також зважується.

Вологість ґрунту  $w$  визначають за формулою:

$$W = \frac{(m_1 - m_0)}{m_0 - m} = \frac{(62,64 - 55,55)}{55,55 - 22,63} = 0,214$$

де  $m$  - вага порожнього стаканчика з кришкою, г;

$m_1$  - вага зволоженого ґрунту зі стаканчиком і кришкою, г;

$m_0$  - вага висушеного ґрунту зі стаканчиком і кришкою, г.

**Границя текучості** визначається, як вологість приготовленої з відібраної проби ґрунту пасти, коли балансірний конус під дією власної ваги за 5 с поринає на глибину 10 мм.

Для визначення границі текучості ґрунтів використовують проби ґрунту порушеної структури або моноліти, для яких необхідно збереження природної вологості. Для ґрунтів, в яких містяться органічні речовини, границю текучості визначають відразу після розкриття проби. Для ґрунтів, в яких органічні речовин відсутні, допускається використання зразків ґрунту в повітряно-сухому стані.

Зразок ґрунту природної вологості поміщається в порцеляновій чашці та ретельно розминається шпателем, рослинні залишки видаляються, більше ніж 1

мм, відбирають із подрібненого ґрунту методом квартування зразок масою близько 300 г. Зразок витримується у закритій скляній посудині не менше 2 год. (рис. 4.8). Не допускається додавати у ґрунтову пасту сухий ґрунт.

Ґрунтова паста ретельно перемішується шпателем і невеликими порціями щільно (без порожнин повітря) укладається у чашку циліндричної форми до балансирного конуса. Поверхню ґрунтової пасти загладжують шпателем в один рівень із краями чашки. (рис. 4.9)

Балансирний конус змазують тонким шаром вазеліну, підводячи вістрям до поверхні ґрунтової пасти, конус плавно відпускається, дозволяючи йому поринати в пасту під дією власної ваги. (рис. 4.10). Занурення конуса в пасту відбувається протягом 5 с на глибину 10 мм. Це свідчить про те, що ґрунт має вологість, яка відповідає границі текучості.

Якщо занурення конуса протягом 5 с відбулося на глибину менше ніж 10 мм ґрунтову пасту виймають із чашки, приєднують до пасти, що залишилася, додаючи небагато дистильованої води, ретельно перемішують і повторюють вищенаведені операції.

При зануренні балансирного конуса протягом 5 с на глибину більше ніж 10 мм ґрунтову пасту перекладають у порцелянову чашку, підсушують на повітрі, безупинно перемішуючи шпателем і повторюють вищенаведені операції знову.

При досягненні границі текучості з пасти відбирають зразки масою від 15 г до 20 г для визначення вологості. (рис. 4.11).

**Границя розкочування (пластичності)** визначається як вологість приготовленої з ґрунту пасти, коли паста, що розкочується в джгут діаметром 3 мм, починає розпадатися на шматочки завдовжки від 3 мм до 10 мм.

При цьому використовується частина ґрунту від 40 г до 50 г, підготовленого для визначення текучості. (рис. 4.12)

Підготовлена ґрунтова паста ретельно перемішується, потім береться невеликий шматочок і розкочується долонею на скляній або пластмасовій поверхні до утворення джгута діаметром 3 мм. Якщо джгут заданої товщини зберігає зв'язність і пластичність, його збирають у грудку і знову розкочують до

утворення джгута діаметром 3 мм. Розкочувати треба, злегка натискаючи на джгут, довжина джгута не повинна перевищувати ширини долоні. Розкочування продовжують доти, поки джгут не починає розпадатися за поперечними тріщинами на шматочки завдовжки від 3 мм до 10 мм (рис. 4.13).

Шматочки джгута, що розпадається, збирають у стаканчики і накривають кришками. (рис. 4.14) Вологість ґрунту визначається тоді, коли його маса в стаканчиках досягне від 10 г до 15 г.

Автором було відібрано безпосередньо з місця виконання робіт по проходці штовльні зразки ґрунту та виконано лабораторне дослідження фізичних властивостей ґрунтів згідно вищенаведеної методики.



Рисунок 4.6 – Зваження зразку ґрунту в закритому стаканчику.



Рисунок 4.7 – Висушення ґрунту до постійної маси в сушильній шафі.



Рисунок 4.8 – витримування зразка у закритій скляній посудині.





Рисунок 4.9 – укладання та згладжування пасту у циліндричну чашку балансного конуса



Рисунок 4.10 – Занурення конуса під дією власної ваги в пасту.



Рисунок 4.11 – Відбирають зразків ґрунту масою від 15 г до 20 г для визначення вологості.



Рисунок 4.12 – Використовування частину ґрунту від 40 г до 50 г, підготовленого для визначення текучості.



Рисунок 4.13 – Розкочування джгута до розпадання за поперечними тріщинами на шматочки завдовжки від 3 мм до 10 мм.



Рисунок 4.14 – Збирання у стаканчики шматочків джгута, які накриваються кришками.

Результати лабораторних досліджень властивостей ґрунтів наведені в табл. 4.1

**Таблиця 4.1 – Фізичні властивості ґрунту**

ДСТУ Б В.2.1-17:2009				
Вологість, $W$ , д.о.	Вологість на межі текучості, $W_L$ , д.о.	Вологість на межі розкочування, $W_p$ , д.о.	Число пластичності, $I_p$ , д. о.	Показник текучості, $IL$ д.о.
0,214	0,20	0,15	0,05	1,28



Число пластичності  $I_p$  визначається як різниця вологостей на межі текучості  $W_L$  та розкочування  $W_p$  і становить в даному випадку 0,05 що відповідає супіскам згідно класифікації ґрунтів (ДСТУ Б В.2.1-2-96. ГОСТ 25100-95. Ґрунты. Классификация).

$$I_p = W_L - W_p = 0,20 - 0,15 = 0,05$$

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p} = \frac{0,214 - 0,15}{0,05} = 1,28$$

де  $W$  – природна вологість;

$W_p$  – межа розкочування (або вологість на межі розкочування);

$I_p$  – число пластичності.

Показник текучості складає 1,28, тобто ґрунт який розташований в покрівлі штольні знаходиться в текучому стані. В проектних даних показник текучості дорівнював 0,40. Згідно результатів, отриманих у п. 3.2, зміщення показника текучості ґрунту з діапазону  $0 < I_L < 0,50$  в діапазон  $0,50 < I_L < 0,75$  і далі призводить до формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки. При такому значенні вологості відбувається суттєве зменшення міцнісних властивостей ґрунтів, що супроводжується збільшенням навантажень і згинальних моментів у конструкції (за даними моделювання в умовах супісків п.2.3 – в 1,3 – 1,6 рази) та інтенсифікацією деформації елементів оправи.

Таким чином натурні спостереження стану кріплення штольні сирецького самопливного колектору підтверджують обґрунтоване шляхом моделювання збільшення навантажень і деформацій оправи підземних споруд при зростанні показника текучості ґрунту, що призводить до ризиків втрати стійкості підземних споруд. Це свідчить про важливість застосовування в проектній практиці синтезу детермінованих та ймовірнісних методів для відображення змінності геологічного середовища при визначенні параметрів кріплення підземних споруд. Зазначений підхід (див. розділ 3) дозволяє враховувати змінний (імовірнісний) характер фізико-механічних властивостей ґрунтів і забезпечує надійний стан підземних комунікацій.



## Висновки за розділом 4

1. Під час обстеження штольні сирецького самопливного колектору було виявлено наступні пошкодження конструкції збірної залізобетонної оправи: нерівномірні зміщення залізобетонних елементів по довжині штольні; окремі випадки деформації конструктивних елементів у покрівлі, які сягали понад 80 мм; відмова верхніх прямолінійних елементів залізобетонного кріплення штольні на ПК0+025; сколи бетону в місцях примикання верхніх і бокових елементів, що свідчить про формування гірського тиску значно вищого за очікувану проектну величину.
2. Лабораторне визначення фізичних властивостей зразків ґрунту з покрівлі штольні здійснене згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009 показало, що згідно класифікації ґрунтів зразки відповідають супіскам, вологість склала 0,214; вологість на межі текучості – 0,20; вологість на межі розкочування – 0,15; число пластичності – 0,05; показник текучості – 1,28. В прийнятих проектних даних показник текучості дорівнював 0,40, що значною мірою пояснює розбіжність між очікуваними (проектними) та діючими величинами деформацій елементів конструкції на окремих ділянках штольні. Таким чином натурні спостереження стану кріплення штольні сирецького самопливного колектору підтверджують обґрунтоване шляхом моделювання збільшення навантажень і деформацій оправи підземних споруд при відповідному зростанні показника текучості ґрунту, що призводить до ризиків втрати стійкості підземних споруд.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗВИТКУ ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ МІСТА КИЄВА

#### 5.1 Обґрунтування економічної ефективності

Врахування змінності властивостей геологічного середовища відкриває можливості до підвищення економічної ефективності проектних і будівельних рішень. В якості прикладу використання таких можливостей розглянемо економічний ефект при будівництві залізобетонної штольні Сирецького самотпливного каналізаційного колектору.

Очікуваний економічний ефект досягається зменшенням (або повним усуненням) обсягів ремонтних робіт і складає 38 770 грн. із загальною кошторисною трудомісткістю 0,14437 тис.люд.-г на 1 м.п. штольні із залізобетонним кріпленням.

Розрахунок ремонтних робіт був здійснений в програмному комплексі АВК-5 (Автоматичний випуск кошторисів) версія 3.5.2.

Розрахунок включає:

- **прямі витрати** які враховують у своєму складі заробітну плату робітників, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів, конструкцій [84, 85];
- **загальновиробничі витрати (ЗВВ) ;**
- **прибуток;**
- **кошти на покриття адміністративних витрат будівельно-монтажних організацій;**
- **податок на додану вартість (ПДВ)** на час розрахунку складав 20%.

Середньомісячна заробітна плата робітників прийнята у розмірі 11 тис.грн.

Вартість машино-годин і матеріальних ресурсів прийнято за регіональними поточними цінами станом на дату складання документації та за усередненими даними Мінрегіонбуду України.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) розраховувались за методикою наведеною в ДСТУ-Н Б Д. 1.1-3 Настанова щодо визначення загальновиробничих і адміністративних витрат та прибутку у вартості будівництва [86].

Показник розміру кошторисного прибутку та усереднений показник для визначення розміру адміністративних витрат прийнято згідно класу наслідків (відповідальності) об'єкта ССЗ (значні наслідки) - 16,1 грн./люд.-г. та 1,6 відповідно.

Слід зазначити, що вищенаведена сума не враховує вартість матеріальних ресурсів (зруйнованих елементів кріплення), оскільки не всі елементи кріплення штольні будуть зруйновані і частина може бути використана повторно. У випадку повної руйнації виробки, вартість ремонтних робіт сягає 57 717 грн. на 1 м.п. виробки. З урахуванням довжини деформованих ділянок і масштабів міського підземного будівництва очікуваний економічний ефект лише в Києві може скласти 5 – 7 млн. грн. на рік.

Кошторисні документи наведені в таблицях 5.1-5.4 (Табл. 5.1 – Договірна ціна; Табл. 5.2 – Локальні кошторисні розрахунки на прокладання каналізації  $d=1000\text{мм}$  методом штольневої проходки; Табл. 5.3 – Обслуговуючі процеси штольневої проходки труби  $d=1000\text{мм}$ ; Табл. 5.4 – Підсумкова відомість ресурсів).

Таблиця 5.1

**ДОГОВІРНА ЦІНА**

на будівництво **Реконструкція ділянки Сирецького самопливного каналізаційного колектора від вул. Кирилівської до вул. С. Скляренка у Подільському районі м. Києва**, що здійснюється в 2020 році

Вид договірної ціни: динамічна.

Визначена згідно з ДСТУ Б Д.1.1-1-2013

Складена в поточних цінах станом на 1 квітня 2019 р.

№ п/п	Обґрунтування	Найменування витрат	Вартість, тис. грн.		
			всього	у тому числі:	
				будівельних робіт	інших витрат
1	2	3	4	5	6
1		Прямі витрати, в тому числі	36,912	36,912	-
	Розрахунок N1	Заробітна плата	10,87666	10,87666	-
	Розрахунок N2	Вартість матеріальних ресурсів	15,78883	15,78883	-
	Розрахунок N3	Вартість експлуатації будівельних машин і механізмів	10,24651	10,24651	-
2	Розрахунок N4	Загальновиробничі витрати	8,62998	8,62998	-
3	Розрахунок N5	Витрати на зведення (пристосування) та розбирання титульних тимчасових будівель і споруд	-	-	-
4	Розрахунок N6	Кошти на додаткові витрати при виконанні будівельних робіт у зимовий період (на обсяги робіт, що плануються до виконання у зимовий період)	-	-	-
5	Розрахунок N7	Кошти на додаткові витрати при виконанні будівельних робіт у літній період (на обсяги робіт, що плануються до виконання у літній період)	-	-	-
6	Розрахунок N8	Інші супутні витрати	-	-	-
		<b>Разом</b>	45,54198	45,54198	-
7	Розрахунок N9	Прибуток	2,32436	2,32436	-
8	Розрахунок N10	Кошти на покриття адміністративних витрат будівельно-монтажних організацій	0,23099	-	0,23099
9	Розрахунок N11	Кошти на покриття ризику	-	-	-
10	Розрахунок N12	Кошти на покриття додаткових витрат, пов'язаних з інфляційними процесами	-	-	-
		<b>Разом (пп. 1-10)</b>	48,09733	47,86634	0,23099
11	Розрахунок N13	Податки, збори, обов'язкові платежі, встановлені чинним законодавством і не враховані складовими вартості будівництва (без ПДВ)	-	-	-
		<b>Разом договірна ціна крім ПДВ</b>	48,09733	47,86634	0,23099
12		Податок на додану вартість	9,61947	-	9,61947
		<b>Всього договірна ціна</b>	57,7168		

Керівник підприємства  
(організації) замовника

Керівник генеральної  
підрядної організації

Таблиця 5.2

Реконструкція ділянки Сирецького самопливного каналізаційного колектора від вул. Кирилівської до вул. С. Скляренка у Подільському районі м. Києва  
общая

**Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-1  
на Прокладання каналізації д=1000мм методом штольневої проходки  
Каналізаційний колектор**

Основа:

креслення (специфікації) № відомість обсягів робіт ПОБ, ЗМ-3

Кошторисна вартість	24,04314	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,04534	тис.люд.-
Кошторисна заробітна плата	6,67282	тис. грн.
Середній розряд робіт	5,2	розряд
Вимірник одиничної вартості	78,00	пм
Показник одиничної вартості	308,25	грн.

Складений в поточних цінах станом на "1 квітня" 2019 р.

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		<b>Розділ 1. Прокладання каналізації д=1000мм методом штольневої проходки на відрізу K1-3-:-K1-1</b>									
		Разом прямі витрати по розділу 1					-	-	-		-
		<b>Всього по розділу 1</b>					-				
1	E29-126-15	<b>Розділ 2. Демонтаж кріплення штольні</b> Улаштування збірної залізобетонної облицювання штолень у ґрунтах 1-3 груп  H2=0,6 H5=0,6 H6=0 H24=1,993 H27=1,993 H98=1,993 H114=1,993	100м3	0,00929	<u>228704,67</u> 224539,58	<u>3511,68</u> 1374,21	2124,67	2085,97	<u>32,62</u> 12,77	<u>1403,0400</u> 10,4927	<u>13,03</u> 0,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	E29-94-2	Приймання та вивантаження сміття у шахтних стволах	100м3	0,00929	<u>8153,09</u> 7201,53	<u>951,56</u> 361,03	75,74	66,9	<u>8,84</u> 3,35	<u>104,4400</u> 4,3450	<u>0,97</u> 0,04
3	C311-22-M	H24=1,23 H27=1,23 H98=1,23 H114=1,23 Перевезення сміття до 22 км  H4=1	т	2,3225	<u>163,92</u> -	<u>163,92</u> 46,28	380,7	-	<u>380,7</u> 107,49	<u>-</u> 0,3110	<u>-</u> 0,72
Разом прямі витрати по розділу 2							2581,11	2152,87	<u>422,16</u> 123,61		<u>14</u> 0,86
Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. <b>Всього будівельні роботи, грн.</b>							2581,11  6,08 2276,48 1050,07 3,43 358,17 <b>3631,18</b>				
<b>Всього по розділу 2</b>							<b>3631,18</b>				
4	E29-126-15	<b>Розділ 3. Кріплення штольні</b> Улаштування збірного залізобетонного облицювання штолень у ґрунтах 1-3 груп	100м3	0,00929	<u>382383,84</u> 374232,63	<u>5852,80</u> 2290,35	3552,35	3476,62	<u>54,37</u> 21,28	<u>2338,4000</u> 17,4878	<u>21,72</u> 0,16
5	& C1415-8221-B5	H24=1,993 H27=1,993 H98=1,993 H114=1,993 Блоки кріплення штольні (нижній брусок L=1760мм)	м3	0,216	<u>17664,92</u> -	<u>-</u> -	3815,62	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
6	& C1415-8221-B4	Блоки кріплення штольні (боковий брусок L=1900мм)	м3	0,502	<u>15869,72</u> -	<u>-</u> -	7966,6	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
7	& C1415-8221-B6	Блоки кріплення штольні (верхній брусок L=1760мм )	м3	0,216	<u>16104,32</u> -	<u>-</u> -	3478,53	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
Разом прямі витрати по розділу 3							18813,1	3476,62	<u>54,37</u> 21,28		<u>21,72</u> 0,16
Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.							18813,1  15282,11				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. <b>Всього будівельні роботи, грн.</b>  ----- <b>Всього по розділу 3</b>					3497,9 1598,86 5,17 540,27 <b>20411,96</b>  <b>20411,96</b>				
		Разом прямі витрати по кошторису  Разом будівельні роботи, грн. в тому числі: вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн. всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год. заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн. <b>Всього будівельні роботи, грн.</b>  ----- <b>Всього по кошторису</b>					21394,21  21394,21  15288,19 5774,38 2648,93 8,6 898,44 <b>24043,14</b>  <b>24043,14</b>	5629,49	<u>476,53</u> 144,89		<u>35,72</u> 1,02
		Кошторисна трудоємність, люд.год. Кошторисна заробітна плата, грн.					45,34 6672,82				

Склав \_\_\_\_\_  
[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Перевірів \_\_\_\_\_  
[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Таблиця 5.3

Реконструкція ділянки Сирецького самопливного каналізаційного колектора від вул. Кирилівської до вул. С. Скляренка у Подільському районі м. Києва  
общая

**Локальний кошторис на будівельні роботи № 2-1-2**  
**на Обслуговуючі процеси штольневої проходки труби д=1000мм**  
**Каналізаційний колектор**

Основа:  
креслення (специфікації ) № Відомість обсягів робіт ПОБ

Кошторисна вартість 21,49884 тис. грн.  
Кошторисна трудомісткість 0,09903 тис.люд.-  
Кошторисна заробітна плата 15,71506 тис. грн.  
Середній розряд робіт 4,5 розряд

Складений в поточних цінах станом на "1 квітня" 2019 р.

№ п/п	Обґрунту- вання (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кіль- кість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуа- тації машин	Всього	заробіт- ної плати	експлуа- тації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
										на одини- цю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		<b>Розділ 1. Обслуговуючі процеси для прокладання каналізації д=1000мм методом штольневої проходки на відрізку К1-3-:-К1-1</b>									
1	ЕД29-270-15	Підйом шахтний для спорудження тунелів краном вантажопідйомністю 2 т	1 зміна	2	<u>502,92</u> -	<u>502,92</u> 473,22	1005,84	-	<u>1005,84</u> 946,44	<u>-</u> 6,1200	<u>-</u> 12,24
2	ЕД29-274-1	Н27=1,23 Електроосвітлення шахтних стволів, штолень та інших тимчасових підземних виробок [на 100 м виробки]	1 зміна	2	<u>38,31</u> -	<u>-</u> -	76,62	-	<u>-</u> -	<u>-</u> -	<u>-</u> -
3	ЕД29-275-21	Чергування електрослюсарів на підземній ділянці	1 зміна	1	<u>2130,21</u> 2015,27	<u>-</u> -	2130,21	2015,27	<u>-</u> -	<u>12,0000</u> -	<u>12</u> -



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	ЕД29-272-15	Місцева вентиляція у виробках закритого способу робіт вентиляторам з потужністю двигуна 13 кВт	1 зміна	2	<u>281,16</u> -	<u>281,16</u> 31,62	562,32	-	<u>562,32</u> 63,24	<u>-</u> 0,1200	<u>-</u> 0,24
5	ЕД29-273-16	Підземна відкатка лебідками у виробках закритого способу робіт	1 зміна	2	<u>3599,70</u> -	<u>3599,70</u> 3329,70	7199,4	-	<u>7199,4</u> 6659,4	<u>-</u> 13,1400	<u>-</u> 26,28
6	ЕД29-270-18	Лісоспуск у шахтному стволі мілкого закладання	1 зміна	1	<u>1003,00</u> -	<u>1002,42</u> 906,72	1003	-	<u>1002,42</u> 906,72	<u>-</u> 6,1800	<u>-</u> 6,18
7	ЕД29-275-16	Обслуговування маркшейдерських робіт на підземній ділянці	1 зміна	1	<u>1615,95</u> 1615,95	<u>-</u> -	1615,95	1615,95	<u>-</u> -	<u>12,0000</u> -	<u>12</u> -
8	ЕД29-275-8	Обслуговування відкочувальних колій у тунелях закритого способу робіт	1 зміна	1	<u>1924,45</u> 1615,95	<u>-</u> -	1924,45	1615,95	<u>-</u> -	<u>12,0000</u> -	<u>12</u> -
Разом прямі витрати по розділу 1							15517,79	5247,17	<u>9769,98</u> 8575,8		<u>36</u> 44,94
Разом будівельні роботи, грн.							15517,79				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.							500,64				
всього заробітна плата, грн.							13822,97				
Загальновиробничі витрати, грн.							5981,05				
трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.							18,09				
заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.							1892,09				
<b>Всього будівельні роботи, грн.</b>							<b>21498,84</b>				
-----											
<b>Всього по розділу 1</b>							<b>21498,84</b>				
Разом прямі витрати по кошторису							15517,79	5247,17	<u>9769,98</u> 8575,8		<u>36</u> 44,94
Разом будівельні роботи, грн.							15517,79				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.							500,64				
всього заробітна плата, грн.							13822,97				
Загальновиробничі витрати, грн.							5981,05				
трудомісткість в загальновиробничих витратах, люд.год.							18,09				
заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.							1892,09				
<b>Всього будівельні роботи, грн.</b>							<b>21498,84</b>				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		-----									
		<b>Всього по кошторису</b>					<b>21498,84</b>				
		<b>Кошторисна трудомісткість, люд.год.</b>					<b>99,03</b>				
		<b>Кошторисна заробітна плата, грн.</b>					<b>15715,06</b>				

Склав \_\_\_\_\_  
*[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]*

Перевірив \_\_\_\_\_  
*[посада, підпис ( ініціали, прізвище )]*

Таблиця 5.4

## Підсумкова відомість ресурсів

№ п/п	Шифр ресурсу	Найменування	Одиниця виміру	Кількість	Поточна ціна за одиницю, грн.	в тому числі:			Обґрунтування ціни
						відпускна ціна, грн.	транс- портна складова, грн.	заготі- вельно- складські витрати, грн.	
					всього, грн.	всього, грн.	всього, грн.	всього, грн.	
1	2	3	4	5	6/7	8/9	10/11	12/13	14
1	1	<b><u>I. Витрати труда</u></b>	люд-год	35,72	157,56				
2		Витрати труда робітників-будівельників	розряд	5,2					
3	311	Середній розряд робіт, що виконуються робітниками-будівельниками	люд-год	36	145,75				
4		Витрати труда чергових робітників у підземних умовах	розряд	4,5					
5		Середній розряд робіт, що виконуються черговими робітниками у підземних умовах	люд-год	45,24	190,39				
6		Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	розряд	3,4					
7		Середній розряд ланки робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням машин	люд-год	0,72	148,81				
8		Витрати труда робітників, зайнятих керуванням та обслуговуванням автотранспорту при перевезенні ґрунту і будівельного сміття							
8.1		Витрати труда робітників, заробітна плата яких враховується в складі: загальноновиробничих витрат	люд-год	26,69	104,55				
	Разом кошторисна трудомісткість		люд-год	144,37					
	Середній розряд робіт		розряд	5,0					

1	2	3	4	5	6/7	8/9	10/11	12/13	14
		<b><u>II. Будівельні машини і механізми</u></b>							
9	CH226-3401	Вагонетки шахтні для транспортування гірничої маси по підземним виробкам, місткість кузова 1 м3	маш-год	11,11856928	<u>5,64</u> 62,71				
10	CH225-4290	Вентилятори осьові місцевого провітрювання, потужність 13 кВт	маш-год	12	<u>46,86</u> 562,32				
11	CH225-3300	Живильники пластинчасті	маш-год	0,366955	<u>24,09</u> 8,84				
12	CH202-970	Кран переносний, вантажопідйомність 1 т	маш-год	12	<u>83,82</u> 1005,84				
13	CH225-3935	Лебідка шахтна маневрова, тягове зусилля 14 [1,4] кН [т]	маш-год	12	<u>599,95</u> 7199,40				
14	CH225-3941	Таль електрична, вантажопідйомність 5т	маш-год	6	<u>167,07</u> 1002,42				
15	CH225-2303	Тельфери електричні, вантажопідйомність 2 т	маш-год	1,87836368	<u>12,93</u> 24,29				
16	C311-22-M	Перевезення сміття до 22 км	т	2,3225	<u>163,92</u> 380,70				
		<b>Разом по розділу II в тому числі енергоносії:</b>	<b>грн.</b>		<b>10246,52</b>				
		Електроенергія	кВт-год	231,027					
		Мастильні матеріали	кг	3,252					
		<b><u>III. Будівельні машини, враховані в складі загальноновиробничих витрат</u></b>							
17	CH211-101	Бадді, місткість 2 м3	маш-год	0,366955					
18	CH203-403	Лебідки електричні, тягове зусилля до 19,62 кН [2 т]	маш-год	7,045536					

1	2	3	4	5	6/7	8/9	10/11	12/13	14
		<b><u>IV. Будівельні матеріали, вироби і конструкції</u></b>							
19	&C1415-8221-B4	Блоки кріплення штовпні (боковий брусок L=1900мм)	м3	0,502	<u>15869,72</u> 7966,60	<u>15220,00</u> 7640,44	<u>338,55</u> 169,95	<u>311,17</u> 156,21	30 км.
20	&C1415-8221-B6	Блоки кріплення штовпні (верхній брусок L=1760мм )	м3	0,216	<u>16104,32</u> 3478,53	<u>15450,00</u> 3337,20	<u>338,55</u> 73,13	<u>315,77</u> 68,20	30 км.
21	&C1415-8221-B5	Блоки кріплення штовпні (нижній брусок L=1760мм)	м3	0,216	<u>17664,92</u> 3815,62	<u>16980,00</u> 3667,68	<u>338,55</u> 73,13	<u>346,37</u> 74,81	30 км.
22	+C112-62	Дошки обрізні з хвойних порід, довжина 4-6, 5 м, ширина 75-150 мм, товщина 44 мм і більше, IV сорт	м3	0,0026012	<u>4319,26</u> 11,24	<u>4100,00</u> 10,66	<u>134,57</u> 0,35	<u>84,69</u> 0,23	30 км.
23	+C111-1513	Електроди, діаметр 4 мм, марка Э42	т	0,007	<u>42032,26</u> 294,23	<u>41000,00</u> 287,00	<u>208,1</u> 1,46	<u>824,16</u> 5,77	30 км.
24	C1999-9001	Електроенергія	кВт-год	13,82	<u>2,2929</u> 31,69	<u>2,29290</u> 31,69	- -	- -	
25	+C1537-402	Канат подвійного звивання, тип ЛК-Р0, оцинкований, з дроту марки В, маркірувальна група 1570 Н/мм2 та менше, діаметр 11,5 мм	10м	0,003	<u>193,63</u> 0,58	<u>176,00</u> 0,53	<u>13,83</u> 0,04	<u>3,8</u> 0,01	30 км.
26	C111-324	Кисень технічний газоподібний	м3	0,98	<u>6,82</u> 6,68	<u>3,31</u> 3,24	<u>3,38</u> 3,31	<u>0,13</u> 0,13	30 км.
27	+C118-80	Лампа розжарювання місцевого освітлення МО 12-40	10шт	0,4	<u>112,34</u> 44,94	<u>110,00</u> 44,00	<u>0,14</u> 0,06	<u>2,2</u> 0,88	30 км.
28	C1546-66	Пропан-бутан технічний	м3	0,25	<u>30,36</u> 7,59	<u>24,70</u> 6,18	<u>5,06</u> 1,27	<u>0,6</u> 0,14	30 км.
29	C111-1683	Стрічка поліетиленова з липким шаром, марка А	кг	0,28	<u>410,49</u> 114,94	<u>402,00</u> 112,56	<u>0,44</u> 0,12	<u>8,05</u> 2,26	30 км.
		Енергоносії машин, врахованих в складі загальновиробничих витрат							
30	C1999-9001	Електроенергія	кВт-год	4,8614	<u>2,2929</u> 11,15	<u>2,2929</u> 11,15			

1	2	3	4	5	6/7	8/9	10/11	12/13	14
31	C1999-9005	Мастильні матеріали	кг	0,0705	<u>71,54</u> 5,04	<u>71,54</u> 5,04			
		Разом	грн.		16,19	16,19			
		<b>Разом по розділу IV</b> <b>Підсумкові витрати енергоносіїв</b> <b>для усіх машин</b>	<b>грн.</b>		<b>15788,83</b>	<b>15157,37</b>	<b>322,82</b>	<b>308,65</b>	
		Електроенергія	кВт-год	235,889					
		Мастильні матеріали	кг	3,323					

Поточні ціни матеріальних ресурсів прийняті станом на "1 квітня" 2019 р.

Символ '+' визначає, що параметри, які впливають на кошторисну ціну ресурсу, змінені користувачем.

Символ & визначає що ресурс задан користувачем.

Склав

\_\_\_\_\_ [посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

Перевірив

\_\_\_\_\_ [посада, підпис ( ініціали, прізвище )]

## 5.2 Рекомендації щодо розвитку підземної урбаністики міста Києва

Тенденції майбутнього освоєння підземного простору мегаполісів свідчать про значні перспективи будівництва систем автомобільних тунелів. У середньотерміновій перспективі протяжні автомобільні тунелі стануть новим і вкрай важливим напрямком розвитку транспортної інфраструктури Києва, який повинен суттєво збільшити пропускну спроможність транспортної мережі, сприяти збереженню історичної забудови в середмісті й розвантажити його від транзитних транспортних потоків [59, 87]. Кількість автомобільних тунелів, що планується звести відповідно до Генерального плану розвитку Києва до 2025 р. складає 8, причому три з них пройдуть під Дніпром, а п'ять будуть з'єднувати транспортні артерії міста в межах правого берега (рис. 5.1). Слід зазначити, що військові події на Сході України та пов'язані з ними економічні фактори можуть змістити строки реалізації цих проектів, але Київ не відмовиться від тунельного освоєння підземного простору в середньостроковій перспективі.

Для розвантаження Набережного шосе, бульвару Лесі Українки та інших магістралей в центральній частині міста, згідно Комплексної схеми транспорту міста Києва на період до 2020 р., запропоновано спорудити два тунелі: від правобережного підходу до Подільського мостового переходу до площі Героїв Великої Вітчизняної війни та на подовження вулиці Саксаганського з виходом на перетин вулиці Мечникова та Кловського узвозу. Зменшити транспортне навантаження центральних вулиць та моста «Метро» можливо при будівництві ще одного тунелю – від площі Перемоги до Броварського проспекту з підрічною ділянкою паралельно існуючому мосту «Метро». Нажаль на сьогодні спостерігається помітне відставання проектної підготовки будівництва тунелів від зазначених вище документів.

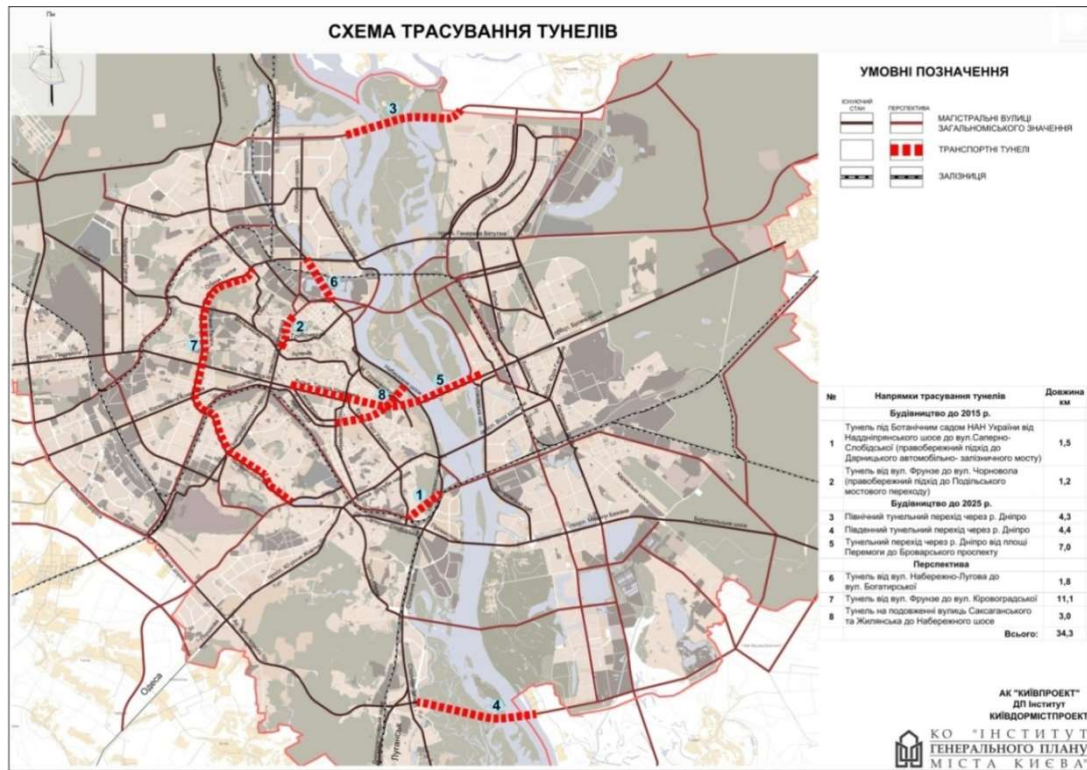


Рисунок 5.1 – Схема трасування автомобільних тунелів  
(Генеральний план розвитку Києва до 2025 р.)

Тунелі, що плануються на правому березі пройдуть в умовах розчленованого рельєфу, в межах ділянок, що складені осадовими породами (суглинки, супіски, леси). Ці породи мають низький рівень міцності. Сформовані водоносні горизонти знаходяться переважно на глибині 4 м, а також виходять на поверхню (лесові останці). Хоча геологічне середовище Києва є складним, проте на більшості територій воно є сприятливим для тунельного будівництва, а сучасні досягнення геобудівельних технологій дозволяють проходити ділянки будь-якої складності. За «оптимістичним сценарієм» у найближчі десять років у Києві може бути споруджено понад 20 км транспортних тунелів, що буде потребувати близько 200 тис. м<sup>3</sup> високоякісного армованого бетону (монолітного, набризкового, збірного), а також анкерних систем кріплення. Потенціал заводів будівельних матеріалів Київської області здатен забезпечити стаłe зростання обсягів підземного будівництва.



Ще одна пропозиція стосується переведення існуючого автомобільного потоку в підземний тунель на ділянці вулиці Набережно-Хрещатицька від Річкового вокзалу до церкви Миколи Чудотворця (а краще – ближче до Гаванського мосту). Загалом ця ділянка Подолу проектувалася у свій час як зручна транспортна розв'язка, зручна для автомобілів, а не для людей. За останнє десятиріччя майже всі набережні європейських столиць стали пішохідними зонами з вільним виходом до річок (усі автомагістралі та естакади були демонтовані або переведені в підземний простір). Асоціація України з Європейським Союзом дає гарні шанси на співфінансування подібного проекту в українській столиці. Для Києва утворення рекреаційної туристичної зони на найбільш атракційній ділянці старого Подолу з вільним виходом до Дніпра й підземним археологічним музеєм на Поштовій площі стане вагомим кроком до набуття європейського рівня сучасної архітектурної культури.

Крім очевидних переваг, пов'язаних з великою швидкістю пересування автомобільними тунелями (відсутність світлофорів, пішохідних переходів, перетинання ліній руху та ін.), вперше відкривається можливість вирішити проблему екологічного забруднення великих міст. Якщо припустити, що в підземному просторі автомобіль буде проходити 60-70% транспортного шляху, а вихлопні гази, які потрапили в тунель, вдасться відвести, утилізувати чи очистити, то шкідливі викиди в атмосферу міста зменшаться в 2,5 – 3 рази, що якісно змінить екологію довкілля й позитивно вплине на тривалість життя містян.

Економічні витрати на будівництво й експлуатацію системи автомобільних тунелів є зіставними з витратами на інші способи вирішення екологічної проблеми міського автомобільного транспорту. Приміром, діюча з 2008 р. у Лондоні програма оснащення автомобілів спеціальними екологічними нейтралізаторами, передбачає витрати від 1,6 до 5 тис. фунтів стерлінгів на один автомобіль (в залежності від марки й моделі транспортного засобу). Враховуючи багатомільйонний парк приватних і службових автомобілів Лондона, загальна вартість програми перебільшує 12 млрд. фунтів, що достатньо для переведення основних транспортних потоків на підземний рівень. При цьому крім вирішення

екологічних проблем мегаполіса, швидкість пересування тунелями збільшиться в декілька разів.

Розглядаючи проекти майбутніх тунелів Києва слід зупинитися на підземних переходах Дніпра. Серед очевидних переваг підводних тунелів у порівнянні з мостами слід відзначити зручності річкового судноплавства, оскільки русло ріки не захаращується мостовими опорами, а проліт мосту не обмежує висоту судна; можливість вести будівельні роботи протягом року (без сезонних простоїв мостового будівництва), що забезпечує конкурентні швидкості спорудження переходів; оптимальний характер трас метрополітенів глибокого закладання, які проходять під річками; можливості очищення вихідного повітря автомобільних тунелів, що покращує екологічний стан довкілля; значні переваги в безпеці підземного переходу річок у випадку військової або диверсійної діяльності.

Останній аргумент був вирішальним для перших спроб проведення тунелів під Дніпром у 1936 р., коли завершувалось будівництво Київського укріпленого району. Будівництво вели кессоним способом. Одночасно споруджували десятки компресорних станцій для подавання повітря, численні трансформаторні підстанції, а також бетонні заводи, які монтували в безпосередній близькості від траси тунелю, щоб скоротити відстані для транспортування важких бетонних секцій. Проте до червня 1941 р. було споруджено лише кількасот метрів підземного шляху. Після війни проект не оновлювали.

Ще однією можливістю створення тунельного переходу під Дніпром могло стати будівництво Київського метрополітену (відкритий 1960 р.). Незважаючи на успішний світовий досвід будівництва та експлуатації підводних метротунелів, вибір прийшовся на мостовий перехід між правим і лівим берегами Дніпра. Проте перспективи розвитку Київського метрополітену не виключають у майбутньому можливості поєднання берегів Дніпра метротунелем.

Новим і вкрай важливим напрямком розвитку транспортної інфраструктури Києва можуть стати протяжні автомобільні тунелі, які повинні значною мірою розвантажити вуличну транспортну мережу, сприяти екологічній безпеці та

збереженню історичної забудови середмістя. Згідно Генеральному плану розвитку Києва до 2025 р. заплановані три автомобільних тунелі під Дніпром (див. рис. 5.1). Проте, найбільш перспективним, а можливо й історично першим тунелем під Дніпром може стати південний перехід кільцевої дороги навколо Києва в районі м. Українка. Проектом будівництва першої черги кільцевої дороги навколо Києва передбачено спорудження південного мостового переходу через р. Дніпро (рис. 5.2), причому проектна довжина мосту складе 4510 м.

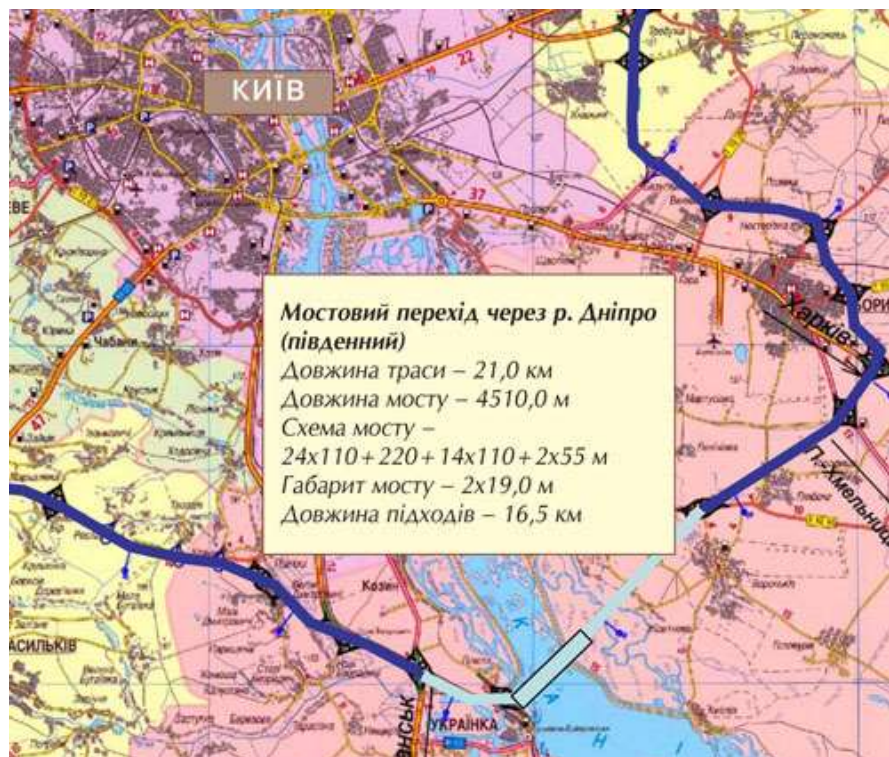


Рисунок 5.2 – Проект південного мостового переходу через річку Дніпро  
 кільцевою магістраллю

Проте в експертному середовищі це рішення залишається дискусійним. Це пов'язано з екологічною проблемою, зумовленою потоком машин кільцевої магістралі в невеличкому місті, а також необхідністю відчуження значних обсягів приватних земель для будівництва траси та транспортних розв'язок. Вирішити ці проблеми й значною мірою оптимізувати трасу південного переходу кільцевої магістралі можуть автомобільні тунелі. Наріжним каменем питання є економічні показники тунельного переходу під Дніпром. Складність техніко-економічного

обґрунтування будівництва тунелів на даному етапі зумовлена відсутністю комплексних інженерно-геологічних пошукувань на трасі майбутнього тунелю, що унеможлиблює точні розрахунки його технологічних і конструктивних параметрів. Проте світовий і український досвід спорудження тунелів дозволяє окреслити певний діапазон імовірної вартості подібних споруд і використовувати цю інформацію для аналізу в першому наближенні.

Велике розмаїття типів, розмірів, конструктивних рішень і способів спорудження, а також геологічних умов будівництва та експлуатації тунелів окреслюють їх вартість у вельми широкому діапазоні. Аналіз будівництва транспортних тунелів у країнах Європейського Союзу за останні два десятиріччя свідчить, що весь цей діапазон знаходився в межах \$ 20...150 млн. за 1 км тунелю. Підводні тунелі не стали винятком і також не виходять за межі цього діапазону. В Японії 1 км найбільшого підводного тунелю світу Сейкан обійшовся у \$ 68 млн., вартість 1 км транспортної гілки Євротунелю коштував близько \$ 120 млн. Рекорд економічності поставив перший із запланованої мережі автомобільних тунелів Ілона Маска, споруджений у передмісті Лос-Анджелеса, вартість якого склала лише \$ 5 млн. за 1 км.

Кошт спорудження тунелів в Україні ніколи не перебільшував середніх значень із зазначеного вище діапазону. Наприклад, вартість одного з найбільших транспортних проєктів останнього часу – Бескидського тунелю Львівської залізниці, який був завершений у 2018 р., складає при довжині 1822 м і ширині 10,5 м – \$ 104 млн. (тобто 1 км тунелю разом з порталом коштував близько \$ 57 млн.). Проєкт першої черги будівництва київського метрополітену до житлового масиву Троєщина передбачає середню вартість 1 км тунелю разом із станцією близько \$ 34 млн. (за даними преси). Аналіз інших численних даних з різних країн свідчить, що навіть в особливо складних геологічних умовах кошт будівництва автомобільних і залізничних тунелів у більшості випадків не перевищував \$ 100 млн. за 1 км, а в стабільних геологічних умовах лежить у межах \$ 30 – 60 млн.

Варто звернути увагу на ту обставину, що вартість матеріалів і будівельно-монтажних робіт зі спорудження оправи тунелю, транспортного й вентиляційного облаштування (навіть з урахуванням накладних витрат) може бути суттєво меншою, ніж загальна проектна вартість тунелю. Це пояснюється значними витратами на проведення виробки в породному (грунтовому) масиві та високими витратами на придбання та амортизацію прохідницького обладнання. У деяких випадках для проведення протяжного тунелю замовляють нові прохідницькі щити, вартість яких складає суттєву частину вартості проекту.

Наведені дані дозволяють з великим ступенем імовірності стверджувати, що кошторис будівництва тунелю під Дніпром в районі міста Українка не вийде за межі \$ 60 млн. за 1 км. Якщо орієнтуватися на цей граничний показник, то загальна вартість двох тунелів з одnobічним рухом орієнтовно складе  $4,51\text{км} \times 60\text{млн.} \times 2 = \$ 541 \text{ млн.}$  У порівнянні із проектним варіантом мостового переходу це може дати економію до 15-20% від вартості будівництва, що свідчить на користь тунельного переходу.

Крім того, тунельний варіант забезпечить більшу довговічність і надійність споруди, а в разі збільшення протяжності тунелю, може пройти під м. Українка, чим повністю вирішить екологічну проблему, пов'язану з проходженням ділянки кільцевої магістралі містом, а також позбавить необхідності відчуження приватних земель для будівництва траси. З огляду на це доцільним бачиться проведення попередніх інженерно-геологічних пошукувань і порівняльної техніко-економічної експертизи мостового й тунельного варіантів спорудження південного переходу кільцевої дороги через Дніпро.

Менш помітним, проте не менш значимим, виходячи з великої протяжності й функціональної значимості, залишається система каналізаційних колекторів столиці, серед яких треба виділити спорудження другої дублюючої нитки міського каналізаційного колектора протяжністю близько 10 км при діаметрі 3 м (будувалася протягом 1994 – 2017 рр.). Це суттєво збільшило надійність системи

відведення стічних вод у Оболонському, Подільському, частині Шевченківського районів Києва, а також у прилеглих Вишгороді, Ірпені, Бучі.

Одним із масштабних інфраструктурних проєктів останнього часу, який отримав фінансування від уряду Японії є реконструкція Бортницької станції аерації, яка повинна значно підвищити надійність каналізації та очищення стічних вод й вирішити низку екологічних проблем. «Слабкою ланкою» в цій системі залишаються дюкери (металеві труби), що прокладені дном Дніпра й забезпечують перепускання стічних вод з правого на лівий берег. Стан деяких дюкерів був небезпечний. Для виправлення ситуації було прийняте рішення про збільшення надійності дюкерів шляхом протягування в них поліетиленових оболонки, проте ці заходи слід розглядати лише як тимчасові.

Перспективною є добра узгодженість взаємодії нової гілки міського каналізаційного колектора з підземним дюкером у рамках системної реконструкції мережі каналізаційних споруд міста та Бортницької станції аерації. Важливо, що досвід підземного будівництва дюкера під Дніпром, який можна пройти щитовим способом, може бути використано для спорудження низки запланованих автомобільних тунелів, що значно покращить перспективи системного освоєння підземного простору Києва. Відносно невелика вартість дюкера (за попередніми оцінками – близько \$40 – 50 млн.) також є вагомим аргументом на користь цього проєкту. За підтримки КМДА пропозиція будівництва підземного дюкера була рекомендована до включення в Генеральний план розвитку Києва.

Слід зазначити важливість системного підходу до планування розвитку підземного простору Києва й підводних тунелів під Дніпром. Якщо підходити до будівництва таких споруд як до спільного комплексу (автомобільні й метро тунелі, підземний дюкер під Дніпром, тунель на кільцевій автомагістралі тощо), то поєднання геоінформації, напрацьованого досвіду, щитових прохідницьких агрегатів і обладнання, виробництва й постачання будівельних матеріалів – зможуть кардинально зменшити витрати на підземне будівництво зазначених об'єктів, підвищити якість і ефективність прохідницьких робіт.

Міське підземне будівництво в багатьох європейських столицях значною мірою було пов'язане зі спорудженням великих підземних паркінгів і багатофункціональних комплексів. Київські підземні торгівельні центри «Глобус» і «Метроград» є початком комплексного освоєння підземного простору середмістя столиці, причому більшість площ міста (за виключенням безпосередньо контактуючих з видатними пам'ятками архітектури) можуть розглядатися як потенційні об'єкти розвитку підземної урбаністики.

Ще один важливий напрямок підземного будівництва у великих містах пов'язаний з утворенням кластерних геотермальних полів – ефективних джерел для теплових насосів. Приміром сучасні індивідуальні системи Cluster Loops, що забезпечують надійний обігрів осель з житловою площею до 700 м<sup>2</sup>, утворюються шляхом прокладання до 20-25 похилих геотермальних зондів (сталевих замкнених труб) з одного колодязя на глибину 11-20 м, причому утворений колектор підключається до теплообмінника в системі теплового насосу й успішно використовує теплову енергію землі. В скандинавських країнах кількість утворених кластерних геотермальних полів для теплових насосів сягає до 250 тисяч. Навіть початок таких робіт в Києві викличе потребу у великій кількості труб малих діаметрів з високоякісної сталі з обов'язковим «наскрізним контролем».

Перспективним напрямком розвитку підземних інженерних комунікацій може стати перенесення існуючих на поверхні електромереж у підземний простір, що відкриє нові можливості для забудови міських ділянок, будівельне освоєння яких сьогодні обмежене нормами експлуатації ЛЕП.

Перспективним напрямком застосування геотехнологій є ревалоризація давніх підземних споруд, зокрема сакральних споруд, що мають релігійну й туристичну цінність. Під Києвом існує близько 300 підземних історичних об'єктів, з яких на сьогодні досліджено близько 20%, а до туристичного доступу відкрито лише одиниці (приміром, печери Києво-Печерської лаври). Особливо складним завданням є відновлення давніх гірничих виробок, які формують підземну туристичну трасу із збереженням автентичності історичних споруд. Для

вирішення цього завдання треба застосовувати сучасні геотехнології, причому комплексна методика ревалоризації підземних об'єктів повинна забезпечити: оцінку стану підземного об'єкту та вміщуючого породного (грунтового) масиву; систему заходів для зміцнення оточуючих порід і підсилення кріплення; ремонт і відновлення зруйнованих ділянок старих виробок; забезпечення водовідливу та вентиляції; проведення інструментального моніторингу безпеки підземної споруди. При цьому згідно з принципами ревалоризації (критерії автентичності, історичної, зовнішньої та доданої цінності) способи й конструкції підтримання виробок повинні відповідати історичним аналогам, або мати приховані форми (ін'єкційне зміцнення оточуючих порід, анкерне кріплення тощо).

Серед перспективних об'єктів цього напрямку треба зазначити проектування підземної частини майбутнього археологічного Музею на Поштовій площі із збереженням унікальних знахідок міського прибережного осередку Києва XI-XIII століть (частини садиб, вулиць, провулків). Важливо, щоб відтворені міські пам'ятки та музейні експозиції давали не тільки змогу ознайомлення зі світом колишніх споруд і технологій, але й розкривали внутрішній духовний світ, традиції й культурні надбання старого Києва, переносили кращі духовні здобутки в день прийдешній.

Обмеженість вільних площ для наземної забудови переорієнтує значну частину інвестиційних коштів на масштабне підземне будівництво, заплановане в Києві на наступне десятиріччя, яке буде здійснюватися в багатьох районах міста, переважно на Правобережжі, а також під Дніпром. Сучасні досягнення в галузі будівельних матеріалів і геотехнологій спроможні забезпечити стійкість і надійність підземних споруд навіть в складних умовах будівництва й експлуатації, дозволяють застосовувати високотехнологічні способи монтажу конструкцій, чим прискорюють введення об'єктів в експлуатацію, сприяють ресурсо- та енергозбереженню під час проведення будівельних робіт і експлуатації урбаністичних об'єктів. Системність і узгодженість стратегічних планів розвитку наземного й підземного Києва, а також місцевої промисловості



будівельних матеріалів, науково-освітнього та проектного потенціалів сприятиме ефективному розвитку підземної урбаністики столиці.

### **Висновки за розділом 5**

1. Очікуваний економічний ефект досягається зменшенням (або повним усуненням) обсягів ремонтних робіт при будівництві та експлуатації Сирецького самопливного каналізаційного колектору і складає 38 770 грн. на 1 м.п. штольні із залізобетонним кріпленням (у разі повної руйнації виробки - 57 717 грн. на 1 м.п.). З урахуванням сумарної довжини деформованих ділянок і масштабів міського підземного будівництва очікуваний економічний ефект лише в Києві може скласти 5 – 7 млн. грн. на рік.
2. Застосування отриманих у роботі підходів до планування підземного простору мегаполісів у змінному геологічному середовищі збільшує перспективи освоєння підземного простору м. Києва, які слід розглядати з системних позицій, пов'язуючи комплекси запланованих метротунелів, автомобільних тунелів, підземних переходів Дніпра та інженерної інфраструктури в загальній системі «підземного міста».

### **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

1. Глобальна зацікавленість в освоєнні підземного простору значною мірою зумовлена позитивними якостями породного масиву (геологічного середовища), що дозволяє зменшити витрати енергії на опалення та охолодження приміщень, скоротити експлуатаційні видатки в порівнянні зі спорудами на поверхні, суттєво знизити впливи кліматичних умов. Підземна інфраструктура підвищує якість життя та екологічну безпеку більшою мірою, ніж аналогічна система на поверхні. Здатність породного масиву надійно захищати людей від небезпечних зовнішніх впливів дозволила широко використовувати підземні споруди як захисні об'єкти від засобів масового ураження, стихійних лих та техногенних

катастроф. Виходячи з цього, розвиток і планування підземного простору є актуальним питанням стратегії використання георесурсів мегаполісу.

2. Основою наукової методології для планування підземного простору мегаполісу обрано модифікований метод морфологічного аналізу, який добре зарекомендував себе у розв'язанні проблемних ситуацій, об'єкти яких можуть мати велику кількість альтернативних конфігурацій за рахунок комбінування різних значень параметрів, причому мережа розроблених морфологічних таблиць поєднує першочергову таблицю результатів морфологічного аналізу геологічного середовища з наступними підпорядкованими таблицями структурно-функціонального характеру.
3. Важливою складовою прийнятої методології планування підземної урбаністики є база даних геологічного середовища, сформована на основі фактичних показників властивостей ґрунтів. Для формування бази даних в межах правобережного Києва був зібраний і узагальнений матеріал інженерно-геологічних пошукувань провідних будівельних компаній столиці, який включав дані зі 362 свердловин і 512 геологічних елементів, глибиною відбору від поверхні до 60 м.
4. Спираючись на виділені групи геологічних і техногенних факторів, а також структурно-функціональних характеристик територій були визначені та кількісно оцінені групи ризиків для визначення доцільності розвитку підземної урбаністики на розглянутих ділянках. Застосована методика дозволила оцінити різноманітні ризики, імовірність реалізації негативних сценаріїв та додаткові витрати з ними пов'язані ще на передпроектній стадії спорудження підземних об'єктів. Це дає в руки інвесторів та міських державних адміністрацій ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів. Розроблена методика та інструментарій можуть бути використані для побудови стратегічних майстер-планів розвитку великих міст.

5. Встановлено, що характер зміни модулю деформації та питомого зчеплення ґрунтового масиву, що вміщує виробку мілкого закладання, коректно описується поверхнями залежностей від комбінації показника текучості та пористості ґрунту, причому зміщення показника текучості ґрунту з діапазону  $0 < I_L < 0,50$  в діапазон  $0,50 < I_L < 0,75$  призводить до формування призми сповзання на всю глибину закладання виробки й збільшення середніх значень згинальних моментів у вершині склепіння виробки в 1,3-1,6 рази в умовах супісків, у 1,2 – 1,4 рази в умовах суглинків, у 1,3 – 1,5 рази в умовах глин.
6. Перспективним напрямком планування підземного будівництва є отримання кількісної оцінки ризику втрати носійної здатності й стійкості підземної споруди шляхом використання синтезу двох сучасних способів моделювання – чисельного методу скінчених елементів та ймовірнісного методу Монте-Карло. Переваги такого об'єднання полягають у переході від детермінованих методів вирішення складних геомеханічних задач до врахування імовірнісних відхилень і оцінки ризиків. Результати проведеного імітаційного моделювання оцінили зону ризику для розглянутих умов близько 10%.
7. Натурні обстеження штольні сирецького самопливного колектору та лабораторне визначення фізичних властивостей зразків ґрунту з її покрівлі підтвердили обґрунтоване шляхом моделювання збільшення навантажень і деформацій оправи підземних споруд при зростанні показника текучості ґрунту, що призводить до ризиків втрати стійкості підземних споруд.
8. Отримані наукові та практичні результати знайшли реалізацію в «Методиці прогностної оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики», що була впроваджена в київській Корпорації «ДБК-ЖИТЛОБУД» (Додаток Б). Результати натурних і лабораторних досліджень по об'єкту «Реконструкція ділянки Сирецького самопливного каналізаційного колектору» впроваджені в

інженерній практиці Будівельної компанії «ГЕС Груп» (Додаток В). Очікуваний економічний ефект досягається зменшенням (або повним усуненням) обсягів ремонтних робіт при будівництві та експлуатації Сирецького самопливного каналізаційного колектору і складає 38 770 грн. на 1 м.п. штольні із залізобетонним кріпленням (у разі повної руйнації виробки - 57 717 грн. на 1 м.п.). З урахуванням сумарної довжини деформованих ділянок і масштабів міського підземного будівництва очікуваний економічний ефект лише в Києві може скласти 5 – 7 млн. грн. на рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Underground Engineering for Sustainable Urban Development/ P.H. Gilbert and others. – Washington: The National Academies Press, 2013. – 230 p.
2. Гайко Г.І. Проблеми системного планування підземного простору великих міст/ Г.І. Гайко// Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». Вип. 25. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 35 – 40.
3. Келемен Я. Город под землей/ Я. Келемен, З. Вайда/ Пер. с венг. Под ред. Г.Е. Голубева. – М.: Стройиздат, 1985. – 248 с.
4. Голубев Г.Е. Подземная урбанистика и город/ Г.Е. Голубев. – М.: МИКХиС, 2005. – 124 с.
5. Препотенська М. Homo Urbanus: феномен людини мегаполісу/ М. Препотенська. – Дніпропетровськ: Вид. Середняк Т.К., 2014. – 420 с.
6. Sterling, R., H. Admiraal, N. Bobylev, H. Parker, J.P. Godard, I. Vähäaho, X. Shi, and T. Hanamura. Sustainability issues for underground spaces in urban areas. Proceedings of ICE. – Urban Design and Planning. Volume 165, Issue 4, December 2012, pp. 241 – 254.
7. Vähäaho I. Underground space planning in Helsinki // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2014. № 6. P. 387–398.
8. Токио// Япония от А до Я. Популярная иллюстрированная энциклопедия. – М.: Directmedia Publishing, «Япония сегодня», 2008. – С. 67 – 112.
9. Акройд П. Подземный Лондон/ П. Акройд/ Пер. с англ. – М.: Изд. О. Морозовой. – 2015. – 192 с.
10. Кауфман Л.Л. Большие подземные полости: дизайн и строительство/ Л.Л. Кауфман, Б.А. Лысиков. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – 434 с.
11. Лысиков Б.А. Использование подземного пространства/ Б.А. Лысиков, А.А. Каплюхин. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 348 с.
12. Рудняк М.С. Рациональное использование подземного пространства для гражданских объектов/ М.С. Рудняк. – М.: Издательство МГГУ, 2003. – 235 с.
13. Иностранный опыт: городские проекты под землей// The Village. URL: <http://www.the-village.ru/village/city/infrastructure/118080-inostrannyi-opyt>.

14. Картозия Б.А. Освоение подземного пространства крупных городов. Новые тенденции/ Б.А. Картозия// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 1. – С. 615 – 629.
15. Шемякин Е.И. Использование подземного пространства как среды обитания человека// Горный журнал, 1995. – № 8. – С. 35 – 39.
16. Гайко Г.І. Освоєння підземного простору в концепції сталого розвитку великих міст //Геотехнології, 2018, №1. – С. 60-64.
17. Гайко Г.І. Комплекс пріоритетних завдань для системного розвитку підземної урбаністики// Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Форум гірників 2019». – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – С. 171-175.
18. Картозия Б.А. Введение в горную науку «строительная геотехнология» и проблему «освоения подземного пространства»/ Б.А. Картозия – М.: МГГУ, 2008. – 171 с.
19. Ржевский В.В. Горные науки/ В.В. Ржевский. – М.: Недра, 1985. – 96 с.
20. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли/ Под. ред. акад. К.Н. Трубецкого. – М.: Издательство АГН, 1997. – 477 с.
21. Гайко Г.І. Конструкції кріплення підземних споруд/ Г.І. Гайко. – Алчевськ: ДонДТУ, 2006. – 143 с.
22. Рогов Е.И. Системный анализ в горном деле/ Е.И. Рогов. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 207 с.
23. Попков Ю.С. Системный анализ и проблемы развития городов/ Ю.С. Попков, М.В. Посохин, А.Э. Гутнов, Б.Л. Шмультян. – М.: Наука, 1983. – 432 с.
24. Ресин В.И. Развитие больших городов в условиях переходной экономики. Системный подход/ В.И. Ресин, Ю.С. Попков. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 328 с.
25. Мерлен П. Город. Количественные методы изучения/ П. Мерлен. – М.: Прогресс, 1977. – 262 с.

26. Корчак А.В. О системном подходе к обеспечению устойчивости подземной инфраструктуры мегаполисов/ Труды конференции «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды», т. 2. Геотехнологии. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2010. – С. 158-162.
27. Pankratova N.D., Gayko G.I., Kravets V.G., Savchenko I.A.. Problems of Megapolises Underground Space System Planning// Journal of Automation and Information Sciences. – Tom 48. – 2016. – № 4. – P. 32-38.
28. Корчак А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений/ А.В. Корчак. – М.: Недра, 2001. – 416 с.
29. Попов В.А. Проектирование строительства подземных сооружений/ В.А. Попов. – М.: Недра, 1989. – 366 с.
30. Картозия Б.А. Строительная геотехнология/ Б.А. Картозия, А.В. Корчак, С.А. Мельникова. – М.: МГГУ, 2003. – 230 с.
31. Самедов А.М. Будівництво міських підземних споруд/ А.М. Самедов, В.Г. Кравець. – Київ: НТУУ «КПІ», 2011. – 400 с.
32. Лернер В.Г. Систематизация и совершенствование технологии строительства подземных объектов/ В.Г. Лернер, Е.В. Петренко. – М.: ТИМР, 1999. – 188 с.
33. Згуровский М.З. Системный анализ: проблемы, методология приложения/М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наукова думка, 2005. – 742.
34. Берталанфи Л. Общая теория систем/ Л. фон Берталанфи. – М.: Мир, 1960. – 328 с.
35. Епишин В.К. Биосфера и мониторинг// Человек и природа. – М.: Недра, 1982. – С. 14 – 73.
36. Бондарик Г.К., Ярм Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг// Инженерная геология. – 1990. – № 5. – С. 3 – 9.
37. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии/ Г.К. Бондарик. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
38. Глушков В.М. Кібернетика// Енциклопедія кібернетики. Т. 1. – К.: Головна редакція УРЕ, 1973 р. – С. 473 – 479.

39. Лернер А.Я. Начала кибернетики/ А.Я. Лернер. – М.: Наука, 1967. – 400 с.
40. Шашенко А.Н. Механика горных пород/ А.Н. Шашенко. – Днепропетровск: НГУ, 2002. – 302 с.
41. Гайко Г.І. Мегаполіс як система наземної й підземної урбаністики/ Г.І. Гайко, В.П. Булгаков// Качество минерального сырья. – 2014. – С. 315 – 321.
42. Гайко Г.І. Транспортноорієнтована природничо-технічна геосистема «геоурбаністика – геологічне середовище»/ Г.І. Гайко, В.Г. Кравець, В.П. Булгаков, Ю.І. Гайко. – Вісник НТУ «КПІ». Серія «Гірництво». – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – Випуск 29. – С. 18-24.
43. Calthorpe, P.: The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream, Princeton Architectural Press, 1993.
44. Jaffe R.S. The US National ITS Architecture. Part 2 – Definition // Traffic technology international, Aug/Sept, 1996. P. 58–64.
45. СНиП 2.01.15-90 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. – М.: Госстрой, 1992.
46. Горбатюк Н.В. Районування урбанізованих територій на основі інтегральних оцінок інженерно-геологічних умов (на прикладі м. Сімферополя): дисертація канд. геол. наук: 04.00.07 / НАН України; Інститут геологічних наук. - К., 2003.
47. Кріль Т.В. Вплив техногенних динамічних навантажень на інженерно-геологічні умови урбанізованих територій (на прикладі м. Києва): Автореф. дис. канд. геол-мінерал. – К., 2012. – 23 с.
48. Гайко Г.І., Кріль Т.В. Типізація геологічного середовища урбанізованих територій при освоєнні підземного простору// XIV міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». – Київ, 2015. – С. 173 – 180.



49. Панкратова Н.Д., Савченко І.О. Морфологічний аналіз. Проблеми, теорія, застосування. Навчальний посібник. – Наукова думка. – 2015. – 245 с.
50. Панкратова Н.Д., Савченко І.О. Застосування методу морфологічного аналізу до задач технологічного передбачення //Наукові праці. – Миколаївський державний гуманітарний університет ім. Петра Могили комплексу НаУКМА. Серія Комп'ютерні технології, системний аналіз, моделювання. – 2008. – Вип. 77, т.90. – С. 6–13.
51. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Технологическое предвидение. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2005. – 156 с.
52. Ayres R.U. Technological Forecasting and Long-Range Planning // McGraw-Hill Book Company, 1969. – 243 p.
53. Voros J. Morphological prospection: Profiling the shapes of things to come // Foresight. – 2009. – Vol. 11. – No. 6. – Pp. 4–20.
54. Voros J. Nesting social-analytical perspectives: an approach to macro-social analysis // Journal of Futures Studies. – 2006. – Vol. 11, No. 1. – Pp. 1–21.
55. Frick R. K. Operations Research and Technological Forecasting // Air University Review. – May–June 1974. – Vol. XXV. – No. 4. – Pp. 2–13.
56. Савченко І.О. Методологічне і математичне забезпечення розв'язання задач передбачення на основі модифікованого методу морфологічного аналізу // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2011. – №3. – С. 18–28.
57. Pankratova N.D., Savchenko I.A., Gayko G.I., Kravets V.G. Evaluating Perspectives of Urban Underground Construction Using Modified Morphological Analysis Method// Journal of Automation and Information Sciences. – 2018. – Volume 50, Issue 10. – P. 34-46.
58. Панкратова Н.Д., Савченко І.А., Гайко Г.І., Кравець В.Г. Системний підхід до освоєння підземного простору мегаполісів в умовах невизначеностей та багато-факторних ризиків//Доповіді Національної академії наук України. – 2018. – №10. – С. 18 – 25.

59. Гайко Г.І., Матвійчук І.О., Білецький В.С., Салуга П. Методи прогнозової оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики/ Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". 2018. – № 48. – С. 39 – 51.
60. Гайко Г.І., Матвійчук І.О. Аналіз залежностей міцнісних властивостей глинистих ґрунтів від зміни вологості// Матеріали 13-ої міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Перспективи розвитку будівельних технологій», 2019. – Дніпро. – С. 149-152.
61. Haiko H. I., Savchenko I.O., Matviichuk I.O. Development of a morphological model for territorial development of underground city space// Naukovyi Visnyk NHU, 2019, № 3. – P. 92-98.
62. Savchenko I.O. Estimating the Solution Sensitivity in Application of the Modified Morphological Analysis Method // Cybernetics and Systems Analysis. - September 2016, Volume 52, Issue 5, pp 782–790.
63. Голубев Г. Е. Автомобильные стоянки и гаражи в застройке городов / Г. Е. Голубев. – М.: Стройиздат, 1988. – 252 с.
64. Боровик Е.Н. Принципы и системы размещения автомобильных стоянок в больших городах/ Боровик Е.Н. – М.: ГОСИНТИ, 1976. – 36 с.
65. Швець В.В., Іскра М.А., Кудлаєнко О.О., Малюта О.В. Планування підземних парковок в умовах щільної міської забудови// Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві». – Вінниця: Видавництво Вінницького національного технічного університету, 2013. – С. 108 – 112.
66. Гайко Г.І., Савченко І.О., Матвійчук І.О. Оцінювання ділянок будівництва підземних паркінгів на основі модифікованого методу морфологічного аналізу// Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, 2019, № 15. – С. 18-25.
67. Швець В.Б. Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник/ В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, О.В.

Солодянкін, В.Г. Шаповал, О.М. Шашенко, С.В. Біда. – Дніпро: Пороги, 2014. – 231 с.

68. ДБН А.2.1-1-2014. Інженерні вишукування для будівництва. – Київ: Мінрегіонбуд, 2014.

69. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. – М.: Госстрой, 1992.

70. Самедов А.М. Отжатие поровой воды, уплотнение, консолидация и ползучесть водонасыщенных грунтов при сжатии/ - А.М. Самедов, В.Г. Кравець, Вісник НТУУ «КПІ», сер. «Гірництво»: Зб.наук. праць. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016.-Вип». 30.-С.11-22

71. Tajdus A., Cala M., Tajdus K. Geomechanika w budownictwie podziemnym/ - Krakow: Wydawnictwa AGH, 2012. – 762 p.

72. Булычев, Н.С. От гипотез горного давления к теории расчета подземных сооружений. Подземное строительство в России на рубеже XXI века. Москва: ТАР, 2000. – 105 с.

73. Гайко, Г.І., Матвійчук І.О. вплив зміни властивостей геологічного середовища на формування навантажень на підземні споруди мілкового закладання// Геоінженерія, 2020, №2. – С. 27-36

74. Кауфман, Л.Л. Геотехнические риски подземного строительства: Монография/ Л.Л. Кауфман, Б.А. Лысыков. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. – 362 с.

75. Шаклеин С.В. Оценка риска пользования недрами/ С.В. Шаклеин, Т.Б. Рогова. – Кемерово: Куз ГТУ, 2009. – 120 с.

76. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. - 395 с.

77. Шашенко А.Н, Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятности в геомеханике. – Київ: Техніка, 1994. – 216 с.

78. Шашенко А.Н., Тулуб Е.Б, Сдвижкова Е.А. Некоторые задачи статистической геомеханики. - К. : Унів. вид-во "Пульсари", 2002. - 302 с.

79. Толок В.А., Кричевский В.В., Гоменюк С.И. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация. – К.: Наук. Думка, 2003. – 316 с.
80. Смолич С.В., Смолич К.С. Решение горно-геологических задач методом «Монте-Карло». – Чита: Университет, 2004. – 103 с.
81. Бугров, А.К., Шилин В.Г. Определение вероятностных характеристик активного давления грунта методом Монте-Карло// Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2002. – № 5.
82. Гайко Г.І., Матвійчук І.О. Постановка імовірнісної задачі оцінки факторів впливу на міські підземні споруди з використанням методу Монте-Карло// Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Перспективи розвитку будівельних технологій». – Дніпро: НГУ, 2017. С. 57–61.
83. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009.
84. ДСТУ-Н Б Д. 1.1-1:2013 Правила визначення вартості будівництва. – Київ: Мінрегіон України, 2013.
85. ДСТУ-Н Б Д. 1.1-2 Настанова щодо визначення прямих витрат у вартості будівництва. – Київ: Мінрегіон України, 2013.
86. ДСТУ-Н Б Д. 1.1-3 Настанова щодо визначення загальновиробничих і адміністративних витрат та прибутку у вартості будівництва.– Київ: Мінрегіон України, 2013.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

<i>Об'єкт</i>	<i>№ ПГЕ</i>	<i>Найменування ґрунту</i>	<i>Вологість природна W, Д.о.</i>	<i>Вологість на межі розкошування Wp, Д.о.</i>	<i>Число пластичності Ip, д.о.</i>	<i>Показник текучості Л, д.о.</i>	<i>Коефіцієнт пористості е, д.о.</i>	<i>P</i>	<i>φ</i>	<i>C</i>	<i>Модуль деформації, Е, Мпа</i>
<i>Демевская, 14</i>	<i>1а</i>	<i>Насипний супіщано-суглинистий ґрунт твердий з включенням будівельн. сміття 15-35%</i>	<i>0,129</i>	<i>0,15</i>	<i>0,05</i>	<i>0</i>	<i>0,62</i>	<i>1,85</i>	<i>21</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
	<i>1б</i>	<i>Насипний супіщано-суглинистий ґрунт пластичн. з включенням будівельн. сміття 15-35%</i>	<i>0,147</i>	<i>0,14</i>	<i>0,07</i>	<i>0,1</i>	<i>0,64</i>	<i>1,84</i>	<i>18</i>	<i>10</i>	<i>9</i>
	<i>4б</i>	<i>Насипний пісок пилюватий, з прош. супіску середн. щільн., маловологий з буд. см. 15-35%</i>	<i>0,083</i>				<i>0,78</i>	<i>1,58</i>	<i>23</i>	<i>1</i>	<i>9</i>
	<i>5а</i>	<i>Насипний супіщано-суглинистий ґрунт твердий з включенням будівельн. сміття 15-70%</i>	<i>0,167</i>	<i>0,18</i>	<i>0,05</i>	<i>0</i>	<i>0,61</i>	<i>1,9</i>	<i>22</i>	<i>10</i>	<i>15</i>
	<i>5б</i>	<i>Насипний супіщано-суглинистий ґрунт пластичн. з включенням будівельн. сміття 15-70%</i>	<i>0,179</i>	<i>0,16</i>	<i>0,06</i>	<i>0,4</i>	<i>0,58</i>	<i>1,95</i>	<i>19</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
	<i>5в</i>	<i>Насипний супіщано-суглинистий ґрунт текучий з включенням будівельн. сміття 15-70%</i>	<i>0,218</i>	<i>0,17</i>	<i>0,04</i>	<i>1</i>	<i>0,62</i>	<i>1,96</i>	<i>17</i>	<i>6</i>	<i>7,5</i>

8б	Насипний пісок пилюватий, з прои. мілкого середн. щільн., вологий та водонасич з буд. см.	0,247				0,73	1,87	25	1	15
10а	Супісок піщанистий, твердий, з прошарками 0,1-0,5м пісків пилюватих та суглинків 10-30%	0,143	0,17	0,05	0	0,57	1,91	22	14	24
10б	Супісок піщанистий, пластичний, з прошарками 0,1-0,5м пісків пилюватих та суглинків 10-30%	0,177	0,15	0,06	0,45	0,7	1,81	18	8	11
10в	Супісок піщанистий, текучий, з прошарками 0,1-0,5м пісків пилюватих та суглинків 10-30%	0,202	0,13	0,05	1,53	0,75	1,8	17	7	10
11б	Супісок легкий пилюват., тугопласт. з прошарк. 0,1-0,2м пісків пилюватих та супісків 10-30%	0,181	0,14	0,1	0,43	0,57	1,99	18	21	23
11в	Супісок легкий пилюват., м'якопласт. з прошарк. 0,1-0,2м пісків пилюватих та супісків 10-30%	0,216	0,16	0,1	0,58	0,61	2	16	15	19
13б	Пісок пилюватий, середньої щільності, водонасичений з прошарками супіску	0,231				0,64	1,94	28	3	18
13в	Пісок пилюватий, щільний, водонасичений з прошарками супіску	0,208				0,57	1,99	31	4	35
16а	Супісок пилюватий, твердий, з прошарками суглинків 10-25% (харківська світа)	0,141	0,17	0,05	0	0,48	2,03	23	15	30
16б	Супісок пилюватий, пластичний, з прошарками суглинків 10-25% (харківська світа)	0,187	0,17	0,05	0,4	0,59	1,97	21	12	21
16в	Супісок пилюватий, текучий, з прошарками суглинків 10-25% (харківська світа)	0,202	0,16	0,05	1,04	0,61	1,96	20	10	18
18б	Пісок мілкий, з прошарками пилюватого середн. щільн., водонасич., (харківська світа)	0,218				0,61	1,96	30	2	26
20б	Суглинок важкий пилюватий, "наглинок", тугопластичний (київська світа)	0,281	0,25	0,14	0,26	0,8	1,89	17	30	17
21а	Глина легка пилювата, мергелиста, напівтверда (київська світа)	0,279	0,26	0,21	0,07	0,77	1,92	17	60	31

	21б	Глина легка пілувата, мергелиста, тугопластична (київська світа)	0,276	0,22	0,21	0,27	0,82	1,88	15	40	24
І. Шевченка,	1	Насипний ґрунт						1,55			
	2	Пісок					0,72	1,71	26	0,001	21
	3	Супісок			0,06	0	0,84	1,74	21	0,022	15
	3а	Супісок			0,06	0	0,8	1,77	18	0,015	12
Сурікова, 3	1а	Насипний пісок різнозернистий, маловологий, середньої щільності, з включенням супіску, щебеню та будівельного сміття 5-45%, 26А	0,124				0,73	1,69	25	0	20
	4ас	Насипний супісок піщанистий, твердий, з прошарками пластичного, з включенням піску, щебеню та будівельного сміття 5-45%, 26А	0,11	0,12	0,2	0	0,69	1,72	23	9	15
	7б	Пісок мілкий, світло-сірий, жовто-сірий, середньої щільності; маловологий, 29А	0,075				0,62	1,72	31	1	33
	8б	Пісок середньої крупності, світло-сірий, жовто-сірий, середньої щільності; маловологий, 29А	0,035				0,59	1,69	32	0	36
	11б	суглинок легкий пілуватий, сірий, світло-сірий, світло-коричневий, з прошарками 0,05-0,1 м супіску 3-10% тугопластичний, 35Б	0,183	0,14	0,11	0,36	0,56	1,99	17	25	21
	12а	Глина легка пілувата, сірувато-коричнева, голубовато-сіра, напівтверда, 8.Д	0,335	0,3	0,26	0,15	0,96	1,81	12	30	13
А.Барбюса, 5Б	1	Насипний ґрунт					0,86	1,55	24	0,009	21
	2	Пісок			0,01		0,64	1,67	28	0,0022	27
	3	Глина			0,32	0	0,68	1,96	12	0,163	36
	4	Суглинок			0,14	0	0,58	1,85	22	0,066	25
	5	Пісок			0,01		0,65	1,72	32	0,003	34
Половецька, 4	1	Супісок, суглинок темно-сірі неоднорідні, місцями з вмістом буд. залишків до 30%	0,069		0,07		0,91	1,51	14	11	14
	2	Супіок деградований жовто-бурий, твердий, піщанистий	0,078	0,14	0,04	0	0,894	1,46	19	13	15



3	Супісок лесовидний палево-жовтий, іро-жовтий, твердий, просідний	0.107/0.245	0,2	0,06	0/0.75	0,88	1,53	23/16	17 9	16; 8
4	Пісок жовтий, коричнево-жовтий, мілкий, з прошарками глинистих ґрунтів, середньої щільності, з прошарками пухкого	0.092/0.22				0,71	1.65/1.85	25		21
5	Супісок бурий, жовто-бурий, сірувато-зелений, твердий, з прошарками піску	0.116/0.145	0,12	0,05	0/0.5	0,745	1.67/1.71	21/17	18 10	20/14
6	Суглинок бурий, коричневий, сіруват-зелений, місцями з включенням уламків скальних порід та прошарками піску, твердий та тугопластичний	0.149/0.201	0,16	0,13	0/0.32	0,63	1.86/1.94	18/15	29/20	24/20
6в	Суглинок сіруват-зелений, пілуватий з прошарками піску насиченого водою, м'якопластичний	0,219	0,15	0,1	0,69	0,644	1,93	13	17	15
7а	Глина зеленувато-сіра, легка пілувата, напівтверда	0,198	0,19	0,23	0,03	0,807	1,76	14	33	20
9а	Пісок світло-сірий, жовтувато-сірий, однорідний мілкий, малого ступеню водонасичення, щільний з прошарками середньої щільності	0,076				0,568	1,86	29	1	35
7	Глина неогенова темно-сіра, жовто-сіра, каолініта, тверда, подекуди, тугопластичнаП	0,231	0,25	0,27	0	0,633	2	6	67	22
11	Суглинок каолінистий сірий, жовто-сірий, твердий, піщанистий	0,118	0,12	0,1	0	0,595	1,84	18	21	23
10	Супісок каолінистий сірий, твердий, піщанистий	0,083	0,15	0,05	0	0,638	1,73	21	16	26
8	Пісок полтавської світи каолінистий сірий, мілкий, маловологий, середньої щільності	0,097				0,612	1,85	25	2	29
9	Пісок світло-сірий, білий, пілуватий, подекуди мілкий, малого ступеню водонасичення та насичений водою, щільний	0.055/0.205				0,547	1.77/2.03	30	1	41

	12	Пісок сірий, темно-сірий, з прошарками суглинку, середньої щільності	0,213				0,56	1,84	28	1	40
проспект Перемоги, 67	4б	Супіски піщанисті, пластичні іV	0,171	0,14	0,06	0,47	0,61	1,9	25	10	11
	6б	Піски пилюваті, середньої щільності	0.104/0.246				0,68	1.7/1.92	28	2	21
	6в	Піски пилюваті, щільні	0.132/0.197				0,54	1.9/2.01	32	4	40
	7б	Піски мілкі, середньої щільності	0.114/0.227				0,62	1.78/1.96	31	1	34
	7в	Піски мілкі, щільні	0.13/0.201				0,55	1.88/2.00	33	3	45
	8б	Піски середньої крупності, середньої щільності	0,211				0,57	1,99	32	0	40
	10а	Супіски, тверді	0,096	0,11	0,04	0	0,6	1,78	23	14	21
	10б	Супіски піщанисті, пластичні	0,161	0,13	0,05	0,54	0,63	1,86	22	11	18
	10в	Супіски піщанисті, текучі	0,189	0,12	0,03	1	0,65	1,88	18	7	10
	11а	Суглинки, напівтверді	0,172	0,15	0,14	0,16	0,53	2,03	20	34	29
	11б	Суглинки легкі піщаниті, тугопластичні	0,177	0,14	0,11	0,34	0,56	1,99	17	25	21
	11в	Суглинки легкі піщаниті, м'якопластичні	0,196	0,13	0,1	0,62	0,59	1,98	16	18	17
	11г	Суглинки легкі піщаниті, текучопластичні	0,217	0,13	0,1	0,85	0,61	1,99	13	9	9
	12а	Глини, напівтверді	0,215	0,18	0,22	0,16	0,65	1,95	17	47	24
	21в	Піски пилюваті, щільні	0,183				0,49	2,06	33	5	45
	22в	Піски мілкі, щільні	0,189				0,5	2,05	34	3	55
	24б	Супіски пилюваті, пластичні	0,215	0,18	0,06	0,6	0,59	2	23	14	21
	24в	Супіски пилюваті, текучі	0,207	0,16	0,04	1	0,63	1,94	20	6	13
	25а	Суглинки напівтверді	0,219	0,19	0,14	0,19	0,6	2,01	19	45	25
	25б	Суглинки тугопластичні	0,231	0,18	0,14	0,38	0,62	2	12	22	20
	25в	Суглинки м'якопластичні	0,24	0,17	0,12	0,61	0,65	1,98	11	8	12
	25г	Суглинки текучопластичні	0,246	0,14	0,11	0,96	0,67	1,97	10	7	10
Академіка Каблуківа,	26а	Глини напівтверді	0,228	0,2	0,25	0,1	0,64	2	19	76	25
	26б	Глини тугопластичні	0,247	0,18	0,18	0,35	0,75	1,91	10	47	20
	4б	Насипні супіски тверді, з прошарками платичного і текучого та включенням піску, щебеню, будівельного сміття 5-30%	0,179	0,19	0,04	0	0,61	1,91	25	10	11
	6б	Піски пилюваті, середньої щільності	0.093/0.246				0,68	1.69/1.92	28	2	21

6в	Піски пилюваті, щільні	0.081/0.197				0,54	1.81/2.01	32	4	40
7б	Піски мілкі, середньої щільності	0.075/0.227				0,62	1.72/1.96	31	1	33
7в	Піски мілкі, щільні	0.073/0.201				0,55	1.79/2.00	33	3	45
8б	Піски ередньої крупності, середньої щільності	0,218				0,59	1,98	32	0	36
8в	Піски середньої крупності, щільні	0,202				0,54	2,02	34	1	45
10а	Супіски піщанисті, тверді	0,103	0,13	0,03	0	0,55	1,87	24	14	24
10б	Супіски піщанисті, пластичні	0,155	0,13	0,05	0,5	0,6	1,89	21	9	20
10в	Супіски піщанисті, текучі	0,169	0,13	0,03	1	0,64	1,86	18	7	10
11а	Суглинки важкі піщанисті, напівтверді	0,185	0,16	0,13	0,17	0,52	2,04	13	40	30
11б	Суглинки легкі піщанисті, тугопластичні	0,172	0,13	0,11	0,36	0,56	1,98	16	28	24
11в	Суглинки легкі піщанисті, м'якопластичні	0,18	0,13	0,09	0,59	0,59	1,94	14	20	14
11д	Суглинки легкі піщанисті, текучі	0,234	0,12	0,09	1	0,65	1,95	12	10	11
12а	Глини легкі пилюваті, напівтверді	0,213	0,2	0,22	0,08	0,63	1,98	11	60	26
12б	Глини легкі пилюваті, тугопластичні	0,238	0,19	0,19	0,28	0,68	1,96	10	42	20
21в	Піски пилюваті, щільні	0,183				0,49	2,06	33	5	45
22в	Піски мілкі, щільні	0,189				0,5	2,05	34	3	55
24б	Супіски піщанисті, пластичні	0,213	0,18	0,06	0,54	0,58	2,01	24	12	23
24в	Супіски піщанисті, текучі	0,201	0,14	0,04	1	0,57	2	21	8	13
25а	Суглинки легкі та важкі піщаниті, напівтверді, з домішками орг. Речовин	0,208	0,19	0,13	0,12	0,6	1,99	23	31	25
25б	Суглинки легкі та важкі піщаниті, тугоплатичні	0,247	0,2	0,12	0,43	0,69	1,95	19	23	20
25в	Суглинки легкі та важкі піщаниті, м'якоплатичні	0,237	0,16	0,11	0,68	0,65	1,98	15	17	17
26б	Глини легкі пилюваті, тугопластичні, з домішками орг. Речовин	0,276	0,21	0,19	0,36	0,77	1,92	10	40	20
31а	Неогенові суглинки важкі пилюваті, напівтверді, з домвишками орг. Речовин	0,219	0,21	0,16	0,06	0,68	1,93	13	25	24
31б	Неогенові суглинки важкі пилюваті, тугопластичні, з домвишками орг. Речовин	0,272	0,21	0,17	0,36	0,74	1,94	11	20	16

Воровського, 11	32ан	Неогенові глини "строкаті" (наглинок), напівтверді, слабонабухаючі, з домішками органічних речовин	0,249	0,23	0,21	0,09	0,68	1,98	10	67	26
	32бн	Неоген. глини легкі пілуваті, "строкаті" (наглинок), тугопластичні	0,271	0,2	0,21	0,35	0,75	1,94	9	43	21
	32ан	Неогенові глини "строкаті" (наглинок), напівтверді, від слабонабухаючих до ильнонабухаючих	0,238	0,25	0,28	0	0,67	2,02	13	140	32
	I	Асфальт, щебінь граніту						1,86			
	III	Супісок жовто-сірий, сірий, подекуди з рідкими домішками буд. сміття, твердий	0.205/0.245	0,21	0,06	0/0.58	0,723	1.91/1.97	21/17	9 7	13 11
	IV	Суглинок жовто-бурий, темний, пілуватий з лінзами піску та, подекуди, з вмістом неперепрілої деревени, напівтвердий	0.209/0.235	0,19	0,09	0.21/0.50	0,696	1.95/1.99	18/17	18/16	21/19
	Xia	Супісок жовто-сірий, зеленувато-сірий, піщанистий з прошарками піску та суглинку, пластичні	0,215	0,18	0,06	0,58	0,669	1,98	21	11	18
	XIa1	Супіок жовто-сірий, буроватий, пілуватий з лінзами піску, твердий	0.143/0.190	0,17	0,04	0/0.50	0,701	1.76/1.83	21/18	10 8	15/13
	XIII	Супісок жовто-сірий, сірий, подекуди з зеленуватим відтінком, пілуватий з тонкими лінзами піску, твердий	0.101/0.210	0,18	0,05	0/0.60	0,712	1.76/1.93	20/18	11 9	20/14
	Xg	Пісок жовто-сірий, сірий, пілуватий з прошарками супіку та мілкого піску, середньої щільності	0.075/0.200				0,663	1.76/1.96	24	1	18
Воровського, 11	XI	Супісок жовто-сірий, пілуватий з прошарками піску та, іноді, суглинку, пластичний	0,198	0,17	0,05	0,56	0,701	1,92	18	8	14
	XIIa	Суглинок зеленувато-сірий, легкий піщанистий з прошарками супіску, напівтвердий	0.221/0.25	0,2	0,09	0.23/0.56	0,686	1.98/2.03	16/15	20/19	21/17

Підвисоцького, 4В	XIV	Глина (подекуди суглинок) темно-сіра, буровато-сіра, легка пилювата, тугопластична та напівтверда, середньонабухаюча (Esw=0,101 д.о.)	0.245/0.271	0,22	0,19	0.13/0.28	0,737	1.98/2.02	15/13	38/35	21/19
	XV	Пісок жовто-сірий, світло-сірий, мілкий з прошарками супіску, щільний	0.155/0.22				0,596	1.88/1.99	29	1	32
	XVIIg	Пісок світло-сірий, пилюватий коалінізований з прошарками супіску та мілкого піску, щільний, у верхній частині шару перекритий пісковиком	0,083				0,559	1,8	30	2	36
	1a	Насипний ґрунт-супісок, пісок з включеннями буд. сміття						1,65			
	1	Ґрунт рослинного шару слабогумусовий						1,5			
	2п	Пісок пилюватий, середньої щільності, маловологий	0.08/0.23				0,71	1.68/1.91	26	2	10
	2т	Супісок твердий, запіскований	0.10/0.22	0,15	0,03	0/0.75	0,68	1.72/1.94	20/16	13/9,0	11;7
	2б	Супісок пластичний, з прошарками піску	0,21	0,18	0,04	0,75	0,7	1,91	18	9	8
	2	Пісок мілкий, середньої щільності, з прошарками супіску	0.06/0.20				0,65	1.70/1.94	31	2	22
	3a	Супісок просідаючий, лесовий, твердий, із затіками гумусу	0.06/0.22	0,18	0,04	0/0.75	0,71	1.66/1.92	21/14	17,0/9	11;4
	3	Супісок просідаючий, лесовий, твердий	0.11/0.24	0,17	0,04	0/0.75	0,83	1.63/1.85	22/15	18,0/10	15;6
	3б	Супісок просідаючий, облесований, твердий, з прошарками піску	0.10/0.24	0,16	0,04	0/1	0,74	1.69/1.90	22/16	17,0/11	18;7
	4a*	Суглинок просідаючий, облесований, твердий, із затіками гумусу	0,12	0,14	0,08	0/1		1.78/1.94			
	4	Суглинок лесовий, напівтвердий	0.14/0.23	0,14	0,09	0/0.75	0,73	1.78/1.92	20/15	22/14	15 8
	5	Пісок середньої крупності, з прошарками дрібного, середньої щільності	0.05/0.21				0,64	1.70/1.95	35	1	29
	5щ	Пісок середньої крупності, з прошарками дрібного, щільний	0.05/0.19				0,53	1.82/2.06	37	2	35

	5п	Пісок пилюватий, середньої щільності, з прошарками супіку	0.05/0.21				0,66	1.68/1.94	29	3	17
	5а	Пісок мілкий, середньої щільності, з прошарками супіку	0.14/0.22				0,66	1.82/1.93	30	2	21
	5'а	Пісок мілкий, щільний	0,2				0,58	2,02	33	2	30
	6	Супісок з прошарками суглинку, піску	0,2	0,16	0,05	0,7	0,65	1,94	18	11	12
	6к*	Супісок пластичний, з прошарками піску з включенням жорстви граніту	0,13	0,15	0,07	0	0,68		20	9	13
	6а	Супісок плинний, з прошарками піску	0,23	0,18	0,05	1	0,71	1,93	16	9	7
	6б	Суглинок напівтвердий, з прошарками супіску	0,21	0,18	0,11	0,25	0,64	1,99	19	22	17
	6г	Глина напівтверда, з прошарками супіску	0,25	0,24	0,24	0,04	0,74	1,97	17	30	15
	7	Пісок дрібний, з прошарками піску пилюватого, супіску, середньої щільності	0,23				0,65	1,98	31	2	23
	8	Супісок пластичний, з прошарками піску	0,26	0,22	0,04	1	0,71	1,97	18	5	15
	9'	Суглинок напівтвердий - до туго пластичного, неоднорідний, місцями тріщинуватий, з прошарками супіку (наглинок)	0,32	0,32	0,06	0.00/0.3	0,88	1,87	17	25	11
	9	Суглинок напівтвердий - до туго пластичного, неоднорідний, місцями тріщинуватий (наглинок)	0,28	0,27	0,12	0.10/0.3	0,8	1,93	17	45	14
	10	Глина напівтверда, "спонділова"	0,28	0,26	0,22	0,1	0,82	1,95	13	87	20
	10а	Суглинок твердий (глина спонділова)	0,27	0,29	0,15	0	0,8	1,92	18	72	13
Ділова, 5	1	Насипний ґрунт - пісок мілкий, жовтувато-сірий, з прошарками супіку, з включенням буд. сміття, до 10%, пухкий, малого ступеня водонасичення									18
	2а	пісок мілкий, сірувато-жовтий, світло-сірий: 2а-середньої щільності	0.067/0.250				0,662	1.64/1.97	29	0,002	21
	2б	щільний, малого ступеня водонасичення, нижче рівня ґрунтових вод-насичений водою	0.054/0.221				0,586	1.73/2.01	33	0,003	34

	3a	пісок пилюватий, сірувато-жовтий, світло-сірий, середньої щільності, малого ступеня водонасичення, нижче рівня ґрунтових воднасичений водою	0.091/0.239				0,633	1.74/1.98	26	0,006	16
	4a	пісок середньої крупності, сірувато-жовтий, світло-сірий середньої щільності	0.069/0.230				0,61	1.73/2.00	32	0,001	32
	4б	щільний, малого ступеня водонасичення, нижче рівня ґрунтових вод-насичений водою	0.059/0.204				0,542	1.79/2.04	35	0,002	40
	5	супісок піщанистий, жовтувато-сірий, з прошарками піску, пластичної консистенції	0.154/0.197	0,14	0,03	0,45	0,654	1.80/1.89	21/19	0,009/0,007	16/14
	6	супісок піщанистий, зеленувато-сірий, пластичної консистенції	0,237	0,23	0,04	0,24	0,665	1,94	24	0,012	28
	7	суглинок важкий піщанистий, слюдяний, зеленувато-сірий, напівтвердої, тугопластичної консистенції	0,287	0,27	0,17	0,12	0,8	1,92	16	0,039	34
	8	глина легка, пилювата, мергельна, слюдяна, карбонатна, блакитно-сіра, твердої та напівтвердої консистенції	0,288	0,27	0,22	0,09	0,805	1,93	17	0,104	38
	9	супісок піщанистий, слюдяний, блакитно-сірий, пластичної консистенції	0,169	0,14	0,04	0,72	0,486	2,06	24	0,024	33
	10	пісок мілкий, з прошарками пилюватого, слюдяний, світло - зеленувато-сірий, середньої щільності, насичений водою	0,239				0,647	1,96	30	0,018	44
	77	насипний ґрунт представлений супіском пилюватим, коричнювато-сірим, темно-сірим, пластичним, з прошарками та лінзами суглинку тугопластичного та піску мілкового 10%, з включеннями будівельного сміття до 15 %	0,154	0,14	0,05	0,28	0,73	1,75	15	16	6,8
Делегатський, 4, 6а	1	супісок пилюватий, жовто-сірий, палево-жовтий, твердий, лесовидний, просідний	0.171/0.25	0,2	0,06	0/0.83	0,802	1.71/1.81	19,0/12	17/8,0	18/8,0

2	супісок піщанистий, бурий, коричнювато-сірий, твердий, місцями до пластичного, з прошарками піску 10%;	0,11	0,12	0,05	0	0,634	1,78	18	14	20
3	суглинок легкий пілуватий, коричнювато-сірий, бурий, напівтвердий, місцями з прошарками суглинку важкого 10% та тонкими лінзами піску мілкого до 10%	0,153	0,14	0,11	0,14	0,629	1,87	12	19	25
4a	пісок мілкий, жовто-сірий, середньої щільності, малого та середнього ступеня водонасичення та насичений водою, місцями з тонкими прошарками супіску 10%	0.062/0.223				0,593	1.74/2.00	33	0	38
4б	пісок пілуватий, жовтувато-сірий, середньої щільності, малого ступеня водонасичення	0,105				0,574	1,83	31	0	29
6	глина легка пілувата, бура, напівтверда	0,188	0,18	0,19	0,04	0,697	1,86	18	31	21
7a	суглинок легкий піщанистий, бурий, світло-сірий, напівтвердий, з включеннями гравію кристалічних порід 5 %, з прошарками супіску піщанистого 5-7 см 15 % та тонкими прошарками та лінзами піску мілкого 1-3 см 10 %	0,123	0,11	0,09	0,15	0,355	2,19	13	45	29/41
7б	суглинок легкий піщанистий, бурий, світло-сірий, тугопластичний, з включеннями гравію кристалічних порід 5 %, з прошарками супіску піщанистого 5-7 см 15 % та тонкими прошарками та лінзами піску мілкого 1-3 см 10 %	0,133	0,1	0,1	0,32	0,366	2,19	12	29	23/38
8	супісок пілуватий, світло-сірий, жовтувато-сірий, зеленуватий, пластичний	0,177	0,16	0,06	0,38	0,641	1,89	18	13	18
9	суглинок легкий пілуватий, світло-сірий, зеленуватий, з жовтими плямами, тугопластичний	0,208	0,16	0,1	0,47	0,623	1,96	14	26	16



	10	глина легка пилувата, темно-сіра, голубувато-сіра, коричневата, напівтверда, з включеннями залізомарганцевих конкрецій 5%, місцями суглинок важкий	0,228	0,21	0,21	0,07	0,616	2,02	14	33	30/45
	11	пісок мілкий, сірий, середньої щільності, насичений водою	0,224				0,593	2,01	32	0	37
	12	суглинок легкий пилуватий та піщанистий, світло-жовтувато-сірий, зеленуватий, м'якопластичний	0,23	0,16	0,11	0,59	0,616	2,01	17	25	15
	14	глина легка пилувата, темно-коричнювата, жовтувато-сіра, тверда та напівтверда, з включеннями залізомарганцевих конкрецій та карбонатних стяжінь 10%	0,231	0,2	0,25	0,11	0,739	1,89	12	50	33/52
	15	глина легка та важка пилувата, жовта, червонувато-жовта, коричневатого-сіра, тверда та напівтверда, з включеннями залізомарганцевих конкрецій та карбонатних стяжінь 10-15%	0,253	0,25	0,27	0,03	0,718	1,96	12	86	41/60
	16	супісок піщанистий, світло-сірий, твердий, з тонкими прошарками та лінзами пісковика та піску мілкового каоліністого	0,111	0,13	0,06	0	0,522	1,92	21	44	38/64
	17	пісок мілкий, світло-сірий, білий, щільний, малого ступеня водонасичення, середнього ступеня водонасичення та насичений водою, каоліністий, з прошарками та лінзами піску пилуватого 20%	0.078/0.204				0,541	1.82/2.04	33	1	44/66
Салютна (1 черга)	1	Грунтово-рослинний шар									
	2	Насипний ґрунт									
	3	Супісок піщанистий, з лінзами пилуватого, твердий	0,11	0,13	0,04	0	0,54	1,82	23	13	18

	3a	Супісок піщанистий, з лінзами пілуватого, пластичний	0,16	0,13	0,04	0,66	0,54	1,95	23	15	20
	4	Суглинок легкий, піщанистий, з лінзами пілуватого, тугопластичний та напівтвердий	0,17	0,15	0,1	0,2	0,61	1,87	17	24	19
	4a	Суглинок легкий, піщанистий, з лінзами пілуватого, м'якопластичний	0,19	0,13	0,1	0,56	0,63	1,85	16	26	15
	4б	Суглинок піщанистий, з лінзами пілуватого, тугопластичний та напівтвердий, з домішками гравію	0,17	0,14	0,1	0,26	0,56	1.90/1.87	18/17	30/35	21/25
	5	Пісок мілкий, неоднорідний за гранулометричним складом, щільний, від малого ступеня водонасичення до насиченого водою	0.03/0.22				0,59	1.64/1.93	29	2	40
	6	Пісок середньої крупності, неоднорідний за гранулометричним складом, щільний, насичений водою	0.03/0.21				0,58	1.65/1.94	30	1	45
	9	Глина легка, пілувата, напівтверда	0,25	0,21	0,19	0,22	0,68	1,94	15/17	60/70	25/30
	9a	Глина важка, пілувата, напівтверда	0,26	0,24	0,32	0,05	0,68	1,91	12	91	35
	6	асфальт, щебінь									
	5	грунтово-рослинний шар - суглинок темно-сірий до чорного, гумусований, твердий (завезений)									
Коломийський	1	насипний шар - пісок мілкий та пілуватий, жовто-бурий, бурий з включенням будівельного сміття 5-10%, малого ступеню водонасичення	0,04								
	11	пісок мілкий, жовто-сірий, жовто-бурий, з прошарками та лінзами супіску, середньої щільності, різного ступеню водонасичення	0,048				0,699	1,63	30	1	23
	11		0,023				0,667	1,63	31	2	25



3	<i>Насипний шар - суглинок темно-бурий до темно-сірого, місцями чорний з домішками органічних речовин, з включеннями будівельного сміття та цегли, з прошарками супіску та піску, напівтвердий та м'якопластичний</i>									
20	<i>Супісок лесовидний палево-жовтий, карбонатний, макропористий, просідний, твердий та (ІГЕ-20а) пластичний, з лінзами та прошарками піску.</i>	0,116	0,17	0,05	0	0,77	1,69	28	47	18
20а*		0,22	0,17	0,06	0,84	0,7	1,92	26	31	10
11	<i>Пісок пиловатий, жовто-зелений, середньої щільності, насичений водою</i>	0,24				0,77	1,86	26	2	20
12	<i>Супісок пиловатий жовто-бурий, жовто-сірий, сірий, слюдистий, з ознаками озалізнєння, пластичний</i>	0,198	0,17	0,05	0,54	0,74	1,84	21	10	10
13б	<i>Суглинок легкий пиловатий сірий та жовто-зелений, з лінзами піску та ознаками озалізнєння, м'якопластичний</i>	0,28	0,23	0,09	0,56	0,78	1,95	18	19	11
13з	<i>Суглинок легкий пиловатий темно-сірий до коричневого з вмістом органічних речовин та з прошарками слабозаторфованого супіску, текучий.</i>	0,412	0,31	0,09	1,13	1,13	1,79	15	10	5

33	<i>Суглинок легкий піщанистий жовто-сірий, жовто-бурий та червоно-бурий, з лінзами піску та прошарками глини, з включеннями карбонатів та жорсткості кристалічних порід, напівтвердий та тугопластичний, (ПЕ-33а) м'якопластичний і текучопластичний</i>	0,154	0,14	0,12	0,12	0,52	2,05	21	120	11
33a		0,261	0,2	0,07	0,87	0,7	1,99	19	23	9
21	<i>Пісок пилюватий сіро-жовтий, жовтий, сірий, сіро-білий, з прошарками піску мілкового та супіску, з ознаками озалізнення, середньої щільності, середнього ступеню водонасичення та насичений водою</i>	0,13				0,65	1,82	30	4	24
21*		0,235				0,65	1,99	30	4	24
32	<i>Супісок піщанистий жовто-зелений, жовто-бурий, сірий та сіробілий, слюдитий, з прошарками піску, пластичний</i>	0,186	0,18	0,04	0,15	0,64	1,93	25	24	16
32*		0,208	0,18	0,04	0,7	0,64	1,97	24	15	14
41	<i>Пісок середньої крупності з лінзами та прошарками мілкового та пилюватого, жовтий, жовто-бурий та рижий, місцями з включеннями гравію, середньої щільності з прошарками щільного, від малого ступеню водонасичення до насиченого водою</i>	0,1				0,56	1,87	36	2	28
41*		0,2				0,56	2,04	36	2	28
52	<i>Супісок пилюватий сіро-білий та сірий, місцями сіро-жовтий, з ознаками озалізнення, запісочений, пластичний</i>	0,22	0,21	0,05	0,2	0,75	1,87	23	16	15

61	<i>Пісок мілкий жовто-білий, жовто-бурий та світло-сірий, з прошарками піску пілуватого, суглинку жовто-бурого до 20 см, місцями з ознаками озалізнєння, щільний з прошарками середньої щільності від малого ступеню водонасичєння до насичєного водою</i>	0,072				0,6	1,78	34	2	40
61*		0,22				0,6	2,03	34	2	40
72	<i>Супісок піщанистий сірий, сіро-зелений та сіро-жовтий, слюдистий, з ознаками озалізнєння, з прошарками піску, пластичний з прошарками текучого</i>	0,235	0,22	0,03	0,5	0,72	1,91	24	8	10
73	<i>Суглинок легкий пілуватий зеленувато-сірий, темно-сірий, слюдистий, з ознаками озалізнєння, м'якопластичний та тугопластичний</i>	0,297	0,24	0,08	0,71	0,79	1,95	18	15	12
71	<i>Пісок мілкий, жовто-бурий та рудий, місцями з прошарками супіску, середньої щільності, середнього ступеню водонасичєння та насичєний водою</i>	0,2				0,75	1,81	34	3	31
83	<i>Суглинок легкий пілуватий зеленувато-сірий, слюдистий, напівтвердий та тугопластичний (наглинок)</i>	0,28	0,27	0,1	0,1	0,76	1,96	23	40	24
83a		0,301	0,27	0,1	0,31	0,76	1,94	18	32	30
84	<i>Глина легка піщаниста мергеліста голубувато-сіра, карбонатна, напівтверда та тугопластична, з прошарками суглинку, місцями тріщинувата</i>	0,27	0,24	0,2	0,15	0,78	1,94	17	63	40
84a		0,33	0,26	0,21	0,33	0,86	1,96	18	43	26

	82	Супісок піщанистий голубувато-сірий, карбонатний, пластичний, з частими прошарками піску водонасиченого та лінзами суглинку	0,199	0,15	0,05	0,98	0,62	1,99	23	10	40
	91	Пісок пиловатий зеленувато-сірий, з частими прошарками супіску, щільний, насичений водою	0,21				0,58	2,03	34	1	50
Ломоносова, 33/43	5	асфальт, щебенева підготовка									
	2	насипний шар-супісок сірий, піщанистий з лінзами суглинку та піску, з включенням будівельного сміття, твердий									
	2*	насипний шар-супісок сірий, піщанистий з лінзами суглинку та піску, з включенням будівельного сміття, твердий									
	20	супісок жовто-бурий, жовто-сірий, сірий з ознаками озалізнення та прошарками піску та суглинку, твердий	0,117	0,14	0,03	0	0,679	1,78	24	15	17
	20a	супісок жовто-бурий, жовто-сірий, сірий з ознаками озалізнення та прошарками піску та суглинку, пластичний	0,168	0,16	0,04	0,19	0,679	1,86	21	11	14
	20a*	супісок жовто-бурий, жовто-сірий, сірий з ознаками озалізнення та прошарками піску та суглинку, пластичний	0,201	0,16	0,04	0,98	0,679	1,91	19	10	13
	10	пісок мілкий, подекуди пиловатий, жовто-бурий, жовтий, жовтосірий, сірий з ознаками озалізнення, з частими прошарками супіску, середньої щільності, від малого ступеню водонасичення до насиченого водою	0,101				0,699	1,72	30	1	21

10*	пісок мілкий, подекуди пилуватий, жовто-бурий, жовтий, жовтосірий, сірий з ознаками озалізнення, з частими прошарками супіску, середньої щільності, від малого ступеню водонасичення до насиченого водою	0,259				0,699	1,96	30	1	21
10в	пісок мілкий з прошарками середньої крупності, жовто-бурий, жовто-сірий з лінзами супіску, щільний, середнього ступеню водонасичення (виділений за даними статичного зондування)	0,101				0,523	1,92	36	4	45
10в*	пісок мілкий з прошарками середньої крупності, жовто-бурий, жовто-сірий з лінзами супіску, щільний, середнього ступеню водонасичення (виділений за даними статичного зондування)	0,187				0,523	2,07	36	4	45
40а	глина (подекуди суглинок) темно-сіра, буро-сіра, місцями червоно-бура, з прошарками суглинку та супіску піщанистого (до 10см), з уламками кристалічних порід, тугопластична	0,25	0,18	0,23	0,31	0,728	1,98	20	55	27
45	глина "строката", жовто-бура, жовто-сіра, сіро-бура, червона, з гніздами піску, подекуди з уламками кристалічних порід, тверда та напівтверда.	0,26	0,25	0,34	0,04	0,719	2,02	19	51	23
25	супісок сірий, сіро-білий, подекуди вохристо-жовто-сірий, рожевосірий, каолінистий, піщанистий з прошарками пісковіку середньозцементованого, твердий	0,106	0,11	0,03	0	0,599	1,85	22	14	25





15z	супісок піщанистий темно-сірий та темно-коричневий, з домішками органічних речовин, твердий та пластичний	0,117	0,14	0,02	0	0,723	1,73	25	14	14
15z*	супісок піщанистий темно-сірий та темно-коричневий, з домішками органічних речовин, твердий та пластичний	0,153	0,14	0,02	0,65	0,723	1,79	22	12	13
11б	пісок мілкий жовтий та жовто-бурий, з лінзами та прошарками супіску сірого карбонатного, середньої щільності, від середнього ступеню водонасичення до насиченого водою	0,102				0,667	1,75	32	2	24
11б*	пісок мілкий жовтий та жовто-бурий, з лінзами та прошарками супіску сірого карбонатного, середньої щільності, від середнього ступеню водонасичення до насиченого водою	0,245				0,667	1,98	32	2	24
10б	пісок середньої крупності, жовтий та жовто-сірий, з прошарками піску мілкового, середньої щільності, від середнього ступеню водонасичення до насиченого водою	0,24				0,656	1,98	35	1	30
20а	супісок сірий, жовто-сірий пилюватий та піщанистий, карбонатний, з ознаками озалізнєння, з лінзами піску, пластичний	0,15	0,13	0,05	0,4	0,586	1,94	25	14	20
20а*	супісок сірий, жовто-сірий пилюватий та піщанистий, карбонатний, з ознаками озалізнєння, з лінзами піску, пластичний	0,167	0,13	0,05	0,74	0,586	1,97	24	13	18

12б	пісок мілкий, жовто-рожевий та жовто-сірий, місцями з ознаками озалізнення, з включеннями неокатаної жорстви та пісковика, з прошарками супіску та піску середньої крупності, середньої щільності, насичений водою	0,246				0,656	1,99	32	2	27
12в	пісок мілкий, жовто-рожевий та жовто-сірий, місцями з ознаками озалізнення, з включеннями неокатаної жорстви та пісковика, з прошарками супіску та піску середньої крупності, щільний, насичений водою	0,218				0,577	2,05	34	3	33
13б	пісок середньої крупності, від сірого до жовто-рожевого та білого, з прошарками піску мілкового, супіску та пісковика, з включеннями гравію до 4 мм, середньої щільності, насичений водою	0,22				0,587	2,04	36	1	35
13в	пісок середньої крупності, від сірого до жовто-рожевого та білого, з прошарками піску мілкового, супіску та пісковика, з включеннями гравію до 4 мм, щільний, насичений водою	0,2				0,541	2,06	38	2	40
23а	супісок піщанистий сірий та жовто-сірий, з рожевими та білими розводами, з прошарками піску та включеннями гальки, пластичний	0,176	0,14	0,06	0,6	0,66	1,91	24	13	15
12з	пісок мілкий, темно-сірий до чорного, з домішками органічних речовин (вуглистий), насичений водою	0,256				0,71	1,95	29	1	22

В. Дубініна, 2	23z	супісок піщанистий темно-сірий та темно-бурий, з прошарками піску, текучий, з домішками органічних речовин (вуглистий)	0,215	0,15	0,05	1,3	0,675	1,94	12	5	10
	42z	глина темно-сіра до чорної, з домішками органічних речовин (вуглиста), з прошарками піску, напівтверда	0,276	0,26	0,42	0,04	0,897	1,85	18	37	10
	31a	суглинок сірий та темно-сірий, карбонатний, тугопластичний, в підосві з включеннями гальки до 2 см, місцями вуглистий	0,191	0,15	0,11	0,37	0,656	1,94	23	30	22
	32б	суглинок зеленувато-сірий, слюдистий, з прошарками та гніздами піску, м'якопластичний та тугопластичний	0,266	0,22	0,08	0,58	0,713	1,99	19	23	19
	22a	супісок зеленувато-сірий, піщанистий, текучий та пластичний, з прошарками піску водонасиченого	0,218	0,2	0,03	0,92	0,634	2	18	2	13
	40	глина зеленувато-сіра, слюдиста, напівтверда (наглинок)	0,282	0,25	0,17	0,19	0,778	1,96	22	32	20
	41	глина мергелиста голубувато-сіра, карбонатна, напівтверда, місцями тугопластична	0,301	0,27	0,23	0,13	0,845	1,93	21	50	25
	3	насипний ґрунт - супісок темно-бурий, жовто-сірий з частими прошарками піску, з включенням битої цегли, щебеню, будівельного сміття, твердий, потужністю від 0,8 м, до 5,2 м						1,75			

4	насипний ґрунт - суглинок червоно-бурий, з лінзами супіску та прошарками піску, включенням битої цегли, будівельного сміття, твердий, потужністю до 1,3 м						1,78			
11a	супісок сіро-жовтий, жовто-бурий, піщанистий з прошарками піску, твердий та пластичний, має потужність прошарків 0,5 м та загальну 7,5 м	0,151	0,17	0,05	0	0,734	1,77	24	13	11
11a*	супісок сіро-жовтий, жовто-бурий, піщанистий з прошарками піску, твердий та пластичний, має потужність прошарків 0,5 м та загальну 7,5 м	0,205	0,17	0,05	0,7	0,734	1,86	21	11	10
10	пісок мілкий, жовто-сірий, жовто-бурий, з прошарками та лінзами супіску, середньої щільності з прошарками щільного, малого, середнього ступеню водонасичення та, подекуди, насичений водою, має потужність прошарків 0,5 м та загальну 12,3 м;	0,047				0,606	1,73	33	3	30
10*	пісок мілкий, жовто-сірий, жовто-бурий, з прошарками та лінзами супіску, середньої щільності з прошарками щільного, малого, середнього ступеню водонасичення та, подекуди, насичений водою, має потужність прошарків 0,5 м та загальну 12,3 м;	0,208				0,606	1,99	33	3	30

10b	пісок середньої крупності, жовто-сірий, жовто-бурий, з прошарками та лінзами супіску та піску мілкового, середньої щільності, малого ступеню водонасичення, має потужність від 2,5 м, до 7,0 м	0,032				0,587	1,72	34	2	35
10b*	пісок середньої крупності, жовто-сірий, жовто-бурий, з прошарками та лінзами супіску та піску мілкового, середньої щільності, малого ступеню водонасичення, має потужність від 2,5 м, до 7,0 м	0,199				0,587	2	34	2	35
14	глина сіро-бура, сіро-жовта, легка піщаниста з гніздами суглинку та супіску, напівтверда потужністю від 1,2 м, до 6,0 м	0,205	0,17	0,18	0,19	0,795	1,82	19	48	18
12a	суглинок жовто-бурий, сіро-бурий, легкий, з лінзами важкого, піщанистого з прошарками піску та гравієм кристалічних порід, м'якопластичний з лінзами тугопластичного, має потужність 2,1 – 9,6 м;	0,216	0,16	0,11	0,51	0,64	1,99	19	33	15
10g	пісок пиловатий жовто-сірий, сіро-жовтий, сіро-бурий, із значним вмістом глинистих часток, з лінзами супіску, щільний, насичений водою, потужністю 1,2 – 6,8 м	0,212				0,593	2,02	32	5	23
18	супісок сірий, темно-сірий до чорного, з лінзами піску пиловатого, з вкрапленнями вугілля, пластичний, потужністю до 1,4 м	0,208	0,19	0,04	0,45	0,618	1,99	25	14	21

Пр. Перемоги	19	глина блакитно-сіро-зелена, темно-сіра, до чорної, важка місцями легка, вуглиста, напівтверда. В підошві шару з піском пилюватим та галькою ( $d=10-20\text{мм}$ ), має потужність 0,7 – 2,2	0,299	0,29	0,32	0,03	0,821	1,96	16	38	12
	20	суглинок сіро-зелений, блакитно-сірий з включенням слюди, легкий піщанистий, м'якопластичний, викритою потужністю до 3,6 м.	0,251	0,19	0,1	0,61	0,696	1,98	24	15	25
	1a	грунтово-рослинний шар – супісок темно-сірий до чорного, гумусований, твердий, завезений, потужністю до 0,4 м						1,64			
	1a1	асфальт, щебінь граніту, бетонні плити, потужністю від 0,2 м, до 0,8 м						1,98			
	1	насипний ґрунт - суміш будівельного сміття, уламки бетону, цегли з супіщано-суглинистим заповнювачем, подекуди з запахом ПММ, має потужність від 1,1 м, до 7,0 м						1,85			
	4	суглинок подекуди супісок темно-сірий, сірий, середньозаторфований та з вмістом органічної речовини ( $I_r=0,29$ д.о.), м'якопластичний, потужністю 0,4 – 6,5 м	0,375	0,3	0,14	0,54	0,833	1,65	14	27	7
	4a	торф буровато-сірий, середньорозкладений ( $D_{dn}=40,4\%$ ), має потужність від 0,8 м, до 3,0 м	0,444				0,8	1,44	10	25	5

3	супісок сірий, жовто-сірий, піщанистий з лінзами піску, пластичний, має потужність від лінзовидної 0,6 м, до 6,1 м	0,16	0,14	0,03	0,59	0,701	1,82	21	11	11
2a	пісок сірий жовтувато-сірий, мілкий з частими лінзами супіску, насичений водою, середньої щільності, має потужність 0,8 – 10,8 м	0,242				0,677	1,96	32	2	24
2	пісок сірий, світло-сірий, середньої крупності з прошарками супіску, а у підшарі шару з включенням жорстких кристалічних порід, насичений водою, щільний, має потужність від 1,4 м, до 9,3 м	0,198				0,541	2,06	36	3	50
5	суглинок зелено-сірий, блакитно-сірий, важкий пилуватий, слюдистий, тугопластичний (наглинок), потужністю від 0,7 м, до 1,9 м	0,299	0,23	0,17	0,41	0,776	1,97	21	30	20
ба	глина блакитно-сіра, легка пилувата, мергельна з прошарками суглинка та тонкими лінзами водонасиченого піску, напівтверда (розуцільнена), має потужність 2,8 – 6,2 м	0,31	0,25	0,25	0,24	0,783	1,99	14	48	21
6	глина блакитно-сіра, легка пилувата, карбонатна, мергельна, напівтверда, від викритої потужності 4,0 м, до пройденої 20,8 м	0,305	0,27	0,24	0,16	0,89	1,89	18	70	28



	7	пісок зеленувато-сірий до темно-сірого, мілкий глауконітовий з частими прошарками піску середньої крупності, середнього ступеню водонасичення та насичений водою, щільний, викритою потужністю 0,8 – 23,4 м	0,16				0,559	1,97	34	3	35
	7*	пісок зеленувато-сірий до темно-сірого, мілкий глауконітовий з частими прошарками піску середньої крупності, середнього ступеню водонасичення та насичений водою, щільний, викритою потужністю 0,8 – 23,4 м	0,202				0,559	2,04	34	3	35
Іоанна Павла II	1	супісками пілуватими, твердими, з включенням будівельного сміття 10-15%, з прошарками суглинку 10%, потужністю 0,6-5,3 м (ІГЕ-1)	0,147	0,15	0,06	0	0,79	1,68	19	6,6	7
	2а	глинами важкими пілуватими, червоно-бурими, напівтвердими, розкритою потужністю 4,3-10,1 м (ІГЕ-2а)	0,271	0,22	0,39	0,13	0,75	1,94	17,4	70,1	30
	2б	глинами важкими пілуватими, строкатими, напівтвердими, розкритою потужністю 1,9-2,5 м (ІГЕ-2б)	0,23	0,2	0,23	0,09	0,71	1,92	16,9	65,3	32
	3	супісками піщанистими, світло-сірими, сірими, твердими, потужністю 3,2-3,9 м (ІГЕ-3)	0,08	0,13	0,06	0	0,52	1,88	21,7	32,3	26
	4	пісками мілкими, світло-сірими, світло-жовтими, щільними, малого ступеня водонасичення, потужністю 13,7-16,1 м (ІГЕ-4)	0,036				0,58	1,71	33,9	2,3	35

Жилянська	4а	пісками мілкими, світлосірими, світло-жовтими, щільними, середнього ступеня водонасичення, з глибини 31,2-34,2 м насиченими водою, потужністю 4,4-7,2 м (ІГЕ-4а)	0,225				0,59	2,01	32,9	2,1	35
	5	супісками пілуватими, коричнево-сірими, сірими, сіро-зеленими, пластичними, з прошарками суглинку м'якопластичного 10-15%, з прошарками піску пілуватого 15-20%, потужністю 5,6-8,2 м (ІГЕ-5)	0,232	0,18	0,07	0,74	0,76	1,84	18,3	7,3	10
	2а	Глина важка пілувата, напівтверда	0,249	0,21	0,35	0,11	0,73	1,97	21	100	24
	2б	Глина важка пілувата, напівтверда	0,237	0,21	0,3	0,09	0,72	1,96	20	83	22
	3	Супісок піщанистий, твердий	0,087	0,14	0,06	0					
	4	Пісок мілкий, щільний, малого ступеня водонасичення	0,024								
	6б	Піски пілуваті, середньої щільності	0,264				0,73	1,89	28	1	13
	6в	Піски пілуваті, щільні	0,197				0,54	2,01	33	4	45
	7б	Піски мілкі, середньої щільності	0,253				0,69	1,92	29	1	21
	7в	Піски мілкі, щільні	0,201				0,55	2	34	3	40
	10а	Супіски пілуваті, тверді	0,109	0,15	0,03	0	0,59	1,82	23	14	21
	10б	Супіски пілуваті, пластичні	0,161	0,14	0,05	0,48	0,63	1,86	22	11	18
	10в	Супіски пілуваті, текучі	0,189	0,13	0,03	1	0,64	1,9	18	7	10
	11а	Суглинки важкі пілуваті, напівтверді	0,148	0,14	0,13	0,08	0,45	2,08	12	37	34
	11б	Суглинки важкі пілуваті, тугопластичні	0,177	0,14	0,12	0,35	0,48	2,09	12	24	26
	11г	Суглинки важкі пілуваті, текучопластичні	0,255	0,14	0,12	0,94	0,72	1,9	11	11	11
	12б	Глини легкі пілуваті, тугопластичні	0,243	0,17	0,18	0,41	0,69	1,94	10	30	23
	31а	Неогенові суглинки, напівтверді	0,218	0,22	0,16	0,02	0,63	1,98	15	45	28
	32а	Неогенові глини "строкаті" напівтверді, від слабонабухаючих до сильнонабухаючих	0,25	0,23	0,38	0,04	0,72	1,95	12	73	32



2a	супісок лесовидний, від жовто-сірого до палево-жовтого, з тонкими лінзами піску, твердий та пластичний, просідний	0,061	0,21	0,05	0	0,696	1,68	24	17	14
2a*	супісок лесовидний, від жовто-сірого до палево-жовтого, з тонкими лінзами піску, твердий та пластичний, просідний	0,224	0,2	0,04	0,57	0,696	1,93	22	12	9
5	суглинок легкий пилюватий від сірого до темно-сірого та чорного, з домішками органічних речовин, з лінзами піску, супіску та торфу, текучопластичний.	0,288	0,22	0,07	0,93	0,818	1,91	13	10	8
6z	пісок пилюватий сірий, жовто-сірий та темно-сірий, середньої щільності, насичений водою, з великою кількістю лінз торфу та супіску і суглинку з домішками органічних речовин	0,24				0,684	1,96	28	3	14
6	пісок мілкий сірий, середньої щільності, насичений водою	0,225				0,606	2,02	34	3	32
6a	пісок середньої крупності сірий, середньої щільності, насичений водою	0,23				0,626	2	35	1	33
7	глина мергелиста блакитно-сіра, карбонатна, напівтверда	0,328	0,28	0,25	0,17	0,986	1,83	16	60	25
7*	глина мергелиста блакитно-сіра, карбонатна, напівтверда	0,355	0,28	0,25	0,28	0,986	1,87	15	58	23
8	суглинок легкий піщанистий блакитно-сірий, з уламками пісковика до 2 см, м'якопластичний	0,202	0,14	0,9	0,69	0,646	1,97	19	25	17

	9	пісок мілкий зеленувато-сірий, середньої щільності, насичений водою	0,23				0,616	2,02	34	3	30
	11	пісок пилюватий, темно-сірий до чорного, середньої щільності, насичений водою, з прошарками піску мілкого та супіску, в покрівлі з включеннями гнізд (до 2 см) чорної глини	0,225				0,602	2,03	32	5	23
Надніпрянське шосе, 2а (2 черга)	1	грунтово-рослинний шар - супісок гумусований									
	2а	супісок лесовидний, від жовто-сірого до палево-жовтого, з тонкими лінзами піску, твердий та пластичний, просідний (за архівними даними)	0,094	0,2	0,05	0	0,696	1,73	24	17	14
	2а*	супісок лесовидний, від жовто-сірого до палево-жовтого, з тонкими лінзами піску, твердий та пластичний, просідний (за архівними даними)	0,227	0,2	0,05	0,55	0,696	1,94	22	12	9
	3	супісок сірий, пластичний, з ознаками озалізнення, з лінзами піску	0,218	0,2	0,04	0,36	0,718	1,9	22	12	13
	5	суглинок легкий піщанистий від сірого до темно-сірого та чорного, з домішками органічних речовин, з лінзами піску та супіску, м'якопластичний з прошарками текучопластичного та текучого	0,303	0,23	0,1	0,75	0,824	1,93	17	18	10

6	пісок мілкий сірий, жовто-сірий та темно-сірий, середньої щільності та щільний (ПГЕ-бц), іноді з лінзами пухкого (ПГЕ-бп), насичений водою, з залишками рослинного детриту та з прошарками супіску і суглинку	0,245				0,677	1,97	32	1	24
бц	пісок мілкий сірий, жовто-сірий та темно-сірий, середньої щільності та щільний (ПГЕ-бц), іноді з лінзами пухкого (ПГЕ-бп), насичений водою, з залишками рослинного детриту та з прошарками супіску і суглинку	0,192				0,532	2,06	36	4	45
ба	пісок середньої крупності сірий, з включеннями піску мілкового та гравію, середньої щільності та щільний (ПГЕ-бац), насичений водою	0,22				0,596	2,03	34	1	36
ба ц	пісок середньої крупності сірий, з включеннями піску мілкового та гравію, середньої щільності та щільний (ПГЕ-бац), насичений водою	0,195				0,523	2,08	36	2	50
7	глина мергелиста блакитно-сіра, карбонатна, напівтверда	0,3	0,27	0,27	0,11	0,827	1,95	20	40	16
8	суглинок легкий піщанистий блакитно-сірий, іноді з уламками пісковика до 2 см, м'якопластичний, місцями тугопластичний	0,198	0,15	0,08	0,59	0,63	1,98	20	39	16
10	пісок мілкий сірий, щільний, насичений водою, з прошарками супіску (перехідна зона)	0,201				0,541	2,07	35	4	46

	9	пісок мілкий зеленувато-сірий, щільний, насичений водою, з прошарками супіску піщанистого	0,185				0,497	2,1	38	5	55
	11	пісок мілкий та пилуватий, темно-сірий до чорного, щільний, насичений водою, з прошарками супіску, в покрівлі з включеннями гнізд (до 2 см) чорної глини	0,183				0,489	2,11	39	5	60
Вавілових	1a	Насипний ґрунт: супісок піщанистий, твердий	0,138	0,14	0,04	0					
	1б	Насипний ґрунт: пісок мілкий алого ступеня водонасичення	0,055						37		
	2	Пісок пилуватий, малого ступеня водонасичення	0,077						37		
	3a	Супісок піщанистий, твердий	0,101	0,12	0,06	0	0,38	2,12		51	49
	3б	Супісок піщанистий, пластичний	0,155	0,15	0,05	0,1				24	32
	4a	Суглинок легкий, важкий піщанистий твердий, напівтвердий	0,16	0,15	0,12	0,08	0,48	2,1		153	38
	4б	Суглинок легкий, важкий пилуватий, мякопластичний	0,225	0,15	0,14	0,54	0,605	2,05		59	17
	5	Пісок середньої крупності, щільності	0,055						37		
	6	Пісок мілкий, щільний	0,207						37		
	7	Глина легка пилувата, важка, тверда та напівтверда	0,245	0,24	0,26	0,02	0,655	2,06		164	48
	8	Суглинок легкий, важкий піщанистий твердий, напівтвердий	0,148	0,15	0,13	0	0,486	2,08		139	50
	9	Пісок мілкий, щільний	0,16				0,574	1,96	36	16	53
Амосова	77	Насипні ґрунти: супісок пилуватий, коричневатого-сірий, твердий, з включеннями будівельного сміття (щебін та гравій, уламки деревени, бита цегла) до 10%	0,123	0,19	0,06	0	0,761	1,67	16	9	10

78	<i>Насипні ґрунти: суглинок легкий пілуватий та піщанистий, коричневатого сірий, темно-сірий, твердий, з включеннями будівельного сміття та щебеню кристалічних порід до 10%</i>	0,085	0,15	0,08	0	0,729	1,65	15	13	11
18	<i>Супісок пілуватий, жовто-сірий, твердий</i>	0,102	0,18	0,07	0	0,71	1,69	17	15	11
19	<i>Суглинок легкий та важкий пілуватий, місцями піщанистий, жовтуватого-коричневий, сіруватого-коричневий, твердий та напівтвердий, з прошарками та лінзами супіску пілуватого та глини, твердої 15%</i>	0,11	0,16	0,14	0	0,669	1,77	18	22	16
20	<i>Глина легка та важка, коричневатого сіра, жовто-сіра, жовта, тверда та напівтверда, грудкувата, місцями перемішана з супіском та суглинками, з карбонистими включеннями 5%</i>	0,186	0,2	0,24	0	0,713	1,86	13	33	15
21	<i>Пісок мілкий, жовто-сірий, твердий, з тонкими прошарками та лінзами суглинка 5 %</i>	0,095	0,18	0,06	0	0,686	1,7	17	16	14
22	<i>Пісок мілкий, жовто-сірий, щільний, малого ступеня водонасичення, з прошарками супіску твердого 10%</i>	0,062				0,599	1,73	30	1	28
1	<i>Супісок пілуватий, жовто-сірий, твердий, лесовидний, просідний</i>	0,1	0,2	0,06	0	0,845	1,56	21	15	16
2	<i>Суглинок легкий пілуватий, жовтуватого-сірий, коричневатий, твердий, лесовидний</i>	0,145	0,19	0,1	0	0,736	1,74	19	19	19
3	<i>Супісок піщанистий, жовтуватого-коричневатий, сірий, твердий, з включеннями жорсткості кристалічних порід 5%</i>	0,125	0,15	0,06	0	0,629	1,81	23	21	23
4	<i>Суглинок легкий піщанистий, коричнево-сірий, бурий, напівтвердий та твердий, з включеннями жорсткості кристалічних порід 5%</i>	0,107	0,14	0,1	0	0,525	1,92	20	54	21



5	<i>Суглинок важкий піщанистий, коричнево-сірий, бурий, твердий, з включеннями жорстких кристалічних порід 5% місцями до глини</i>	0,132	0,15	0,15	0	0,469	2,05	21	47	29
6	<i>Пісок мілкий, жовтувато-сірий, щільний, малого ступеня водонасичення</i>	0,036				0,589	1,7	32	2	34
7	<i>Суглинок легкий пілуватий, світло-сірий, зеленуватий, з жовтими плямами, тугопластичний</i>	0,217	0,18	0,1	0,37	0,64	1,96	13	33	15
8a	<i>Глина легка пілувата, темно-сіра, зеленувато-сіра, коричневатого-сіра, тугопластична</i>	0,238	0,18	0,19	0,31	0,68	1,97	13	39	17
8б	<i>Глина легка пілувата, темно-сіра, зеленувато-сіра, коричневатого-сіра, напівтверда</i>	0,209	0,2	0,18	0,05	0,593	2,03	14	48	30
9	<i>Пісок мілкий, сірий, середньої щільності, насичений водою</i>	0,236				0,627	1,98	30	2	30
10a	<i>Суглинок важкий пілуватий, світло-жовтувато-сірий, зеленуватий, напівтвердий, в подошві до тугопластичного</i>	0,196	0,19	0,13	0,05	0,648	1,92	23	43	29
10б	<i>суглинок легкий пілуватий та піщанистий, світло-жовтувато-сірий, зеленуватий, м'якопластичний з тонкими прошарками та лінзами піску водонасиченого</i>	0,243	0,18	0,1	0,63	0,702	1,93	12	29	16
11	<i>Глина легка та важка пілувата, темно-коричнювата, жовто-сіра, тверда та напівтверда, місцями з включеннями карбонатних стяжінь 5%</i>	0,207	0,2	0,2	0,03	0,602	2,02	10	66	35
12	<i>Глина легка та важка пілувата, жовта, червонувато-жовта, коричневатого-сіра, тверда та напівтверда, з включеннями карбонатних стяжінь 10-15% в подошві записочена</i>	0,208	0,21	0,27	0	0,638	1,99	14	103	37

	13	Супісок піщанистий, світло-сірий, твердий, з тонкими прошарками піску пілуватого	0,064	0,14	0,04	0	0,593	1,75	19	49	36
	14	Пісок пілуватий, світло-сірий, білий, щільний, малого ступеня водонасичення, каоліністий, з прошарками та лінзами піску мілкового 10%	0,042				0,586	1,72	34	3	40
	14a	Супісок піщанистий, сірий, пластичний	0,166	0,15	0,04	0,4	0,702	1,79	17	20	17
	15	Пісок мілкий, сірувато-бурий, сірий середньої щільності, з зеленуватим відтінком, насичений водою	0,219				0,581	2,01	31	1	30
	16	Супісок пілуватий, темно-зеленуватий, пластичний, слюдяний	0,246	0,21	0,05	0,72	0,654	1,97	20	10	15
	17a	Суглинок легкий піщанистий, темно-зеленувато-сірий, тугопластичний, в покрівлі мякопластичний	0,223	0,19	0,09	0,37	0,689	1,9	17	17	16
	17б	Глина важка, пілувата, сіра, напівтверда, слюди́ста	0,275	0,25	0,36	0,07	0,771	1,96	15	27	20
Ясногірська	1	Насипний ґрунт						1,55			
	2	Пісок					0,66	1,68	27	7	28
	3	Супісок			0,05		0,75	1,67	22	16	13
	4	Глина			0,2		0,76	1,91	9	33	17
Героїв Дніпра	1a	Насипний ґрунт: пісок середньої крупності, сірий, пухкий, малого ступеня водонасичення, з включеннями щебеню до 5 %					0,75	1,61	25	0	17
	1б	Насипний ґрунт: пісок середньої крупності, сірий, середньої щільності, малого ступеня водонасичення, з включеннями щебеню до 5 %					0,62	1,71	32	0	28
	2б	Намивний ґрунт: пісок мілкий, середньої щільності, від малого ступеня водонасичення до насиченого водою	0,035				0,71	1,59	29	0	22
	3	Слабозаторфований ґрунт темно-сірий	0,4				1,52	1,35	10	11	3



4	насипний ґрунт - суглинок темно-сірий та чорний, з домішками органічних речовин та будівельного сміття до 15%, з великою кількістю неоднорідних лінз піску, тугопластичний до м'якопластичного. В св.№5 в інтервалі 1,6-1,8 м - бетон									
5	насипний ґрунт - будівельне сміття із супіщаним заповнювачем та уламками бетону									
30z	суглинок важкий пилуватий, темно-сірий до коричневого, слабозаторфований ( $I_r=0,09-0,75$ д.о.), місцями з лінзами торфу, м'якопластичний та текучопластичний	0,54	0,44	0,13	0,74	0,978	1,44	6	17	4
20z	супісок сірий, темно-сірий та чорний, з домішками органічних речовин ( $I_r=0,01-0,07$ д.о.), з тонкими лінзами пилуватого піску, пластичний до текучого	0,295	0,24	0,05	0,98	0,799	1,89	10	1	7
10	пісок мілкий, сірий та жовто-сірий, з тонкими лінзами супіску, іноді в покрівлі зустрічаються незначні включення гальки, насичений водою, середньої щільності	0,258				0,699	1,92	26	1	23
11	пісок пилуватий, зеленувато-сірий, жовто-зелений та сірий, подекуди з великою кількістю лінз глинистого суглинку, насичений водою, середньої щільності	0,26				0,705	1,93	24	2	15
12	пісок мілкий глинистий, зеленувато-жовтий, жовтий, жовто-сірий, жовто-бурий, сірий, з частими лінзами супіску та суглинку, місцями з включеннями гальки, насичений водою, середньої щільності	0,254				0,677	1,94	27	1	25

	13	<i>пісок середньої крупності, жовто-бурий, жовтий, жовто-сірий та сірий, місцями із обвугленим рослинним детритом, з включеннями гравію та мергелю, з лінзами піску мілкого (до 20 см), супіску та суглинку, насичений водою, середньої щільності</i>	0,24				0,656	1,94	31	1	30
	20	<i>супісок сіро-бурий, бурий та жовто-бурий, з великою кількістю лінз піску (до 20 см) та місцями з обвугленим рослинним детритом, пластичний до текучого</i>	0,194	0,13	0,07	0,97	0,64	1,92	13	3	10
	30	<i>суглинок сірий, з лінзами піску, м'якопластичний</i>	0,275	0,16	0,16	0,71	0,813	1,87	12	12	11
	40	<i>глина темно-сіра, темно-бура, з включеннями жорстви та з лінзами піску водонасиченого, напівтверда</i>	0,207	0,2	0,31	0,03	0,719	1,97	15	39	22
	41	<i>глина мергелиста блакитно-сіра, карбонатна, місцями з великою кількістю включень карбонатів діаметром до 2 см, напівтверда та тугопластична</i>	0,319	0,27	0,24	0,2	0,943	1,82	15	40	25
Салютна (2 черга)	1	<i>Грунтово-рослинний шар</i>									
	2	<i>Насипний ґрунт</i>									
	3	<i>Супісок піщанистий, з лінзами пілуватого, твердий</i>	0,11	0,13	0,04	0	0,54	1,82	23	13	18
	3a	<i>Супісок піщанистий, з лінзами пілуватого, пластичний</i>	0,16	0,13	0,04	0,66	0,54	1,95	23	15	20
	4	<i>Суглинок легкий, піщанистий, з лінзами пілуватого, тугопластичний та напівтвердий</i>	0,17	0,15	0,1	0,2	0,61	1,87	17	24	19
	4a	<i>Суглинок легкий, піщанистий, з лінзами пілуватого, м'якопластичний</i>	0,19	0,13	0,1	0,56	0,63	1,85	16	26	15



4	<i>Насипний ґрунт: глина сіро-коричнева, жовто-сіра, напівтверда, з тонкими прошарками піску пилуватого та мілкого, 10-20 %, з включеннями щебеню та будівельного сміття до 10 %; 8 д</i>									
5	<i>Пісок пилуватий, з лінзами та тонкими прошарками мілкого, жовто-сірий, коричнево-сірий, середньої щільності, від маловологого до насиченого водою; 29 а</i>	0.091/0.239				0,633	1.74/1.98	26	6	16
6	<i>Супісок піщанистий, світло-сірий, жовто-сірий, коричнево-сірий, пластичний, з лінзами та тонкими прошарками текучого; 36 а</i>	0.154/0.197	0,14	0,03	0,45	0,654	1.80/1.89	21/19	7,00	16/14
7	<i>Суглинок легкий піщанистий, сірий, м'якопластичний, з тонкими прошарками піску пилуватого, з домішкою органічних речовин; 35 а</i>	0,19	0,13	0,1	0,56	0,63	1,85	16	26	15
8а, б	<i>Глина важка, жовто-сіра, коричнево-сіра, 8а - напівтверда, 8б - тугопластична, з тонкими прошарками піску пилуватого та супіску, з домішкою органічних речовин; 8 д, б</i>	0,249	0,21	0,35	0,11	0,73	1,97	21	100	24
9	<i>Пісок пилуватий, жовто-сірий, коричнево-сірий, середньої щільності, насичений водою, з включеннями гравію до 10 %; 29 б</i>	0,231				0,64	1,94	28	3	18
10	<i>Супісок піщанистий, світло-сірий, жовто-сірий, пластичний, з прошарками 0,1-0,3 м піску пилуватого, насиченого водою, 1-3 прошарки на 1 м, з включеннями гравію 5-10 %; 36 б</i>	0,235	0,22	0,03	0,5	0,72	1,91	24	8	10





	2	Супісок сірий, замулений, з прошарками суглинку, текучий, пластичний	0,177	0,15	0,06	0,45	0,7	1,81	18	8	11
	3	Торф сильно розкладений, насичений водою									
	4	Пісок мілкий, сірий, насичений водою, середньої щільності.	0,218				0,61	1,96	30	2	26
	5	Суглинок чорний, коричнево-чорний, слабозаторфований, твердий.	0,118	12	0,1	0	0,595	1,84	18	21	23
	5a	Суглинок чорний, коричнево-чорний, твердий, плинний, середньої заторфованості.	0,27	0,29	0,15	0	0,8	1,92	18	72	13
	6	Супісок сірий, пластичний, плинний	0,166	0,15	0,04	0,4	0,702	1,79	17	20	17
	7	Пісок мілкий, сірий, жовто-сірий, з прошарками супіску, насичений водою, середньої щільності	0,224				0,593	2,01	32	0	37
	8	Пісок, середньої крупності, жовтий, насичений водою, щільний.	0.03/0.21				0,58	1.65/1.94	30	1	45
	9	Суглинок мергельний (наглинок), напівтвердий, тугопластичний, слюдистий, блакитно-зелений.	0,32	0,27	0,16	0,62	0,807	1,96	24	80	20,9
	10	Глина мергельна, блакитна, напівтверда, тугопластична, слюдиста, з марганцем та карбонатами.	0,39	0,32	0,28	0,48	0,922	1,91	18	99	29,7
	11	Супісок зеленувато-сірий, пластичний, з прошарками піску.	0,215	0,18	0,06	0,58	0,669	1,98	21	11	18
	12	Пісок мілкий, зеленувато-сірий, насичений водою, щільний, з прошарками супіску.	0,245				0,667	1,98	32	2	24
Сирецька	1	Асфальт, щебінь граніту, подекуди бетонні плити									
	3	Супісок жовто-сірий, сірий, піщанистий з прошарками піску та домішками будівельного сміття до 30%, твердий	0,112	0,14	0,02	0	0,762	1,68	23	12	11
	3a	Супісок жовто-сірий, сірий, піщанистий з прошарками піску та домішками будівельного сміття до 30%, твердий	0,148	0,14	0,02	0,4	0,762	1,73	20	10	9

	Xv	Пісок жовто-сірий, мілкий з прошарками піску середньої крупності та рідкими домішками жорствикристалічних порід, середньої щільності	0,093				0,656	1,75	32	2	27
	Xva	Пісок жовто-сірий, мілкий з прошарками піску середньої крупності та рідкими домішками жорствикристалічних порід, середньої щільності	0,2				0,656	1,92	32	2	27
	XI	Супісок буровато-жовтий, пилуватий, твердий	0,136	0,14	0,03	0	0,69	1,8	27	15	16
	XI	Супісок буровато-жовтий, пилуватий, твердий	0,154	0,14	0,03	0,47	0,69	1,82	23	12	14
	Xb	Пісок світло-жовтий, середньої крупності з прошарками мілкового піску, середньої щільності	0,068				0,616	1,75	37	2	34
Лаврська	1	Насипний ґрунт - суглинок, інколи супісок, глина та піски неоднорідні, з включенням уламків будівельного сміття до 10-15%	0,147	0,19	0,09	0	0,737	1,77	22	12	10
	2б	Супісок пилуватий та піщанистий, неоднорідний, від твердого до пластичного	0,187	0,16	0,07	0,5	0,781	1,78	24	13	12
	3б	Суглинок легкий, пилуватий з прошарками піщанистого, неоднорідний, мякопластичний, рідше тугопластичний	0,282	0,24	0,08	0,52	0,888	1,82	19	17	7
	3в	Суглинок легкий, пилуватий слабозаторфований, мякопластичний	0,498	0,44	0,14	0,53	1,305	1,57	16	12	5
	3г	Глина легка, пилувата, напівтверда	0,295	0,29	0,19	0,03	0,824	1,94	17	37	15
	4б	Пісок пилуватий, середньої щільності, однорідний, від малого ступеню водонасичення до насиченого водою	0,154				0,715	1,79	28	4	16
	2	Супісок пилуватий, рідше піщанистий, шаруватий, неоднорідний, від твердого до пластичного	0,184	0,21	0,05	0,25	0,806	1,75	24	11	9

	3	<i>Суглинок легкий, рідше важкий, пилуватий, інколи піщанистий, шаруватий, неоднорідний, від твердого до тугопластичного</i>	0,182	0,14	0,1	0,5	0,722	1,84	21	26	12
	3a	<i>Глина легка, пилувата, з прошарками супіску та суглинку, неоднорідна, тверда та напівтверда</i>	0,218	0,26	0,21	0,25	0,72	1,94	19	38	14
	4	<i>Пісок пилуватий, середньої щільності, однорідний, малого ступеню водонасичення</i>	0,061				0,622	1,74	28	4	15
	12	<i>Пісок пилуватий, щільний каолиністий, з прошарками піску дрібного, неоднорідний, малого ступеню водонасичення</i>	0,062				0,519	1,86	29	5	30
	13	<i>Супісок піщанистий переважно пластичний, в покрівлі твердий</i>	0,211	0,2	0,05	0,22	0,617	2	22	21	20
	14	<i>Пісок дрібний, щільний, насичений водою</i>	0,2				0,582	2,01	30	3	26
	15	<i>Суглинок важкий, пилуватий, тугопластичний</i>	0,314	0,27	0,15	0,5	0,808	1,97	19	42	23
<i>Парк Нивки</i>		<i>Насипний ґрунт</i>				0		1,59	18	15	
		<i>Насипний ґрунт</i>				1		1,75	15	8	
		<i>Рослинний ґрунт</i>						1,49			
		<i>Супісок</i>			0,05	0	0,65	1,72	22	23	14
		<i>Супісок</i>			0,05	0	0,69	1,84	19	15	9
		<i>Суглинок</i>			0,11	0,5	0,57	1,98	18	38	17
		<i>Суглинок</i>			0,09	0,75	0,64	2,1	16	20	11
		<i>Пісок</i>			0,01		0,65	1,76	30	1	30
		<i>Глина</i>			0,25	0,25	0,64	2,03	8	115	30

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

«Методики прогновної оцінки сприятливості геологічного середовища  
будівництву об'єктів підземної урбаністики»

Розроблена в НТУУ «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського» в рамках НДР «Розвиток підземної урбаністики як системи освоєння георесурсів великих міст» (номер державної реєстрації 0117U002414) «Методика прогновної оцінки сприятливості геологічного середовища будівництву об'єктів підземної урбаністики» була впроваджена в системі концерну «ДБК-ЖИТЛОБУД» і дозволила, спираючись на виділені групи геологічних і техногенних факторів, а також функціональних характеристик ділянок будівництва розглянути низку рішень і груп ризиків для оцінки доцільності підземного будівництва на розглянутих територіях. Застосована методика дозволила оцінити різноманітні ризики, імовірність реалізації негативних сценаріїв та додаткові витрати з ними пов'язані ще на передпроектній стадії спорудження підземних об'єктів. Це дає замовникам і проектувальникам ефективний інструмент управління ризиками та інвестиціями при освоєнні підземного простору мегаполісів.

Голова правління  
корпорації «ДБК-ЖИТЛОБУД» /Щирлюк П.П./



## Додаток В



**ГЕС ГРУП**  
БУДІВЕЛЬНА КОМПАНІЯ

ТОВ «ГЕС Груп» Код ЄДРПОУ 38  
ІПН 389234726539, р/р 260030104  
в АТ «Укресімбанк» в м. Києві, код б

02660, вул. Червоноткацька, 42А/1 м. Київ, тел. (044) 337-07-17 [www.ges-g](http://www.ges-g)

Від «02» березня 2020 р.

### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Матвійчука І.О. «Планування і  
простору мегаполісів в змінному геологічному середовищі  
в ТОВ «ГЕС Груп»

Результати натурних досліджень на ділянці будівництва штолу  
8 по об'єкту: «Реконструкція ділянки Сирецького самопливного ка  
колектора від вул. Кирилівської до вул. С. Скляренка у Подільському  
Києва» та лабораторних випробувань властивостей вміщуючи ґрунті  
аспірантом Матвійчуком І.О. (КПІ ім. Ігоря Сікорського), а також  
щодо врахування змінного (імовірнісного) характеру показника тек  
були впроваджені в інженерній практиці ТОВ «ГЕС Груп» й доз  
ефективно забезпечувати безремонтний стан конструкцій підземних і

Очікуваний економічний ефект досягається збільшенням  
підземних виробок.

Директор  
ТОВ «ГЕС Груп»

